



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN–TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EFICIENCIA EN LA CAPTURA DE CARBONO ATMOSFÉRICO A
PARTIR DE CUATRO GÉNEROS DE ALGAS
FOTOSINTÉTICAS EN EL DISTRITO
DE MOYOBAMBA-2015”**

**Tesis para optar el título profesional de
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Bach. Jorge Luciano Rucoba Laulate

ASESOR:

Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez

Código N°06050816

Moyobamba – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL DE PREGRADO 2016**



**“EFICIENCIA EN LA CAPTURA DE CARBONO ATMOSFÉRICO A
PARTIR DE CUATRO GÉNEROS DE ALGAS
FOTOSINTÉTICAS EN EL DISTRITO
DE MOYOBAMBA-2015”**

**Tesis para optar el título profesional de
Ingeniero Ambiental**


AUTOR:

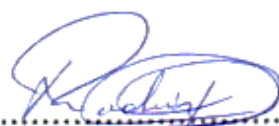
Bach. Jorge Luciano Rucoba Laulate

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el 16 de Agosto del 2017.


.....
Ing. M.Sc. Rubén RUÍZ VALLES
Presidente


.....
Blgo. M.Sc. Alfredo Iban DÍAZ VISITACIÓN
Secretario


.....
Ing. Alfonso ROJAS BARDALEZ
Miembro


.....
Blgo. M.Sc. Luis Eduardo RODRÍGUEZ PÉREZ
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Yo, Jorge Luciano Rucoba Laulate, con DNI N° 60606741 egresado de la Facultad de Ecología, de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada **“Eficiencia en la captura de carbono atmosférico a partir de cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba - 2015”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis titulada es de mi autoría
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 16 de agosto 2017



Jorge Luciano Rucoba Laulate
DNI N° 60606741

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Rucoba Laurelto Jorge Luciano		
Código de alumno :	115122	Teléfono:	927816370
Correo electrónico :	lucianorucoba@gmail.com	DNI:	60606721

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería ambiental

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Eficiencia en la captura de carbono atmosférico a partir de cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyabamba - 2015
Año de publicación:	2017

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

10 / 09 / 2018



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A mis padres Juan Rucoba y Gledis
Laulate, y a Dios, por permitirme realizar
mis sueños, por mis logros y fracasos, y por
la sabiduría para enfrentar los retos de la
vida.

A nuestros docentes y amigos, que en el
andar de la vida nos hemos ido encontrando;
porque cada uno de ustedes motivó nuestros
sueños y esperanzas.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser nuestro guía durante la vida universitaria, por no permitírnos caer y seguir adelante; a mis padres por darnos la existencia y en ella la capacidad de superarnos y desearnos lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo de la vida. Gracias por ser como son, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar las personas que ahora somos.

A nuestra alma mater, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, y docentes, por forjarnos como verdaderos profesionales, a cada uno de ellos mi especial agradecimiento y estima personal, por darme la oportunidad de realizar mi formación profesional dentro de las aulas, permitiendo así mi superación académica y profesional.

A mi asesor de tesis Blgo. M.Sc Luis Eduardo Rodríguez Pérez, por el apoyo constante en la realización de este trabajo y por las aportaciones brindadas

A mis amigos y compañeros Andreina, Sintia, y padres Juan Rucoba y Gledis Laulate por el apoyo durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE GENERAL	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1. Bases teóricas	3
1.2. Antecedentes de a investigación.....	14
1.3. Definición de términos básicos.....	16

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales	17
2.2. Métodos	17

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Identificación de los cuatro géneros de algas fotosintéticas	22
3.2. Registro del desarrollo de las algas	24
3.3. Evaluación dela eficiencia en la captura de carbono atmosférico con los cuatro géneros de algas fotosintéticas.....	32
3.3.1. Análisis de carbono orgánico total	32
3.3.2. Determinación de la cantidad de carbono capturado durante la evaluación.....	33
3.3.3. Determinación de la variación de la eficiencia.....	35
3.4. Discusión	38

CONCLUSIONES.....	41
-------------------	----

RECOMENDACIONES	43
-----------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
----------------------------------	----

ANEXOS	
--------	--

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Géneros de algas contenidas en los recipientes	19
Tabla 2. Ubicación de las algas	23
Tabla 3. Biomasa inicial	24
Tabla 4. Biomasa final húmeda	24
Tabla 5. Biomasa seca	25
Tabla 6. Porcentaje de humedad.....	25
Tabla 7. Tasa de crecimiento de biomasa.....	26
Tabla 8. Registro el pH de cada foto biorreactor.....	28
Tabla 9. Contenido de carbono.....	34
Tabla 10. Tabla de contingencia frecuencias observadas	36
Tabla 11. Tabla de contingencia frecuencias esperadas	36
Tabla 12. Tabla Chi-cuadrado	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aislamiento de algas	18
Figura 2. Tasa de crecimiento biomasa algal	26
Figura 3. Porcentaje de humedad	27
Figura 4. Comparación peso seco, peso húmedo – biomasa final	27
Figura 5. Comparación biomasa inicial – biomasa final	28
Figura 6. Valores pH <i>Spirogyra spp</i>	29
Figura 7. Valores pH <i>Scenedesmus spp</i>	29
Figura 8. Valores pH <i>Cosmarium spp</i>	30
Figura 9. Valores pH <i>Closterium spp</i>	30
Figura 10. Comparación niveles de pH entre los géneros de algas	31
Figura 11. Registro de temperatura marzo	32
Figura 12. Concentración de carbono	33
Figura 13. Carbono orgánico total capturado	34
Figura 14. Descripción grafica Chi-cuadrado.....	37

RESUMEN

El presente trabajo aborda el estudio de las algas como capturadores de carbono, mediante la utilización de fotobiorreactores abiertos para simular la interacción de los gases atmosféricos. El proceso comenzó con la inoculación de cada género de alga, que posteriormente llegó a pesar 5 gramos de biomasa cada uno se introdujo a los fotobiorreactores para su reproducción. Las algas seleccionadas fueron autóctonas para evitar fracasos en la investigación. En la evaluación de pH los cuatro grupos de géneros algales tuvieron una tendencia alcalina progresiva hasta la tercera semana llegando a un valor máximo en el género *Scenedesmus spp* de 9,33 que posteriormente en la semana siguiente se fue neutralizando por actividad propia de las algas. En la evaluación de concentración de carbono se obtuvo que los géneros con mayor valor fueron *Scenedesmus spp* con una concentración de 7,07 y *Closterium spp* con un valor de 5,85 por ciento. En la biomasa seca obtenida el género *Cosmarium spp* obtuvo un valor máximo de 28.488 gramos seguido del género *Spirogyra spp* con 17,322 gramos, el contenido de carbono se estimó multiplicando concentración de carbono por el peso en Kg de biomasa seca, en el que el género *Scenedesmus spp* ha logrado la mayor cantidad de carbono capturado con 0,0016043244 Kg seguida del género *Cosmarium spp* con 0,0016038744 Kg. De los cuatro géneros evaluados son dos los que aprovechan mejor los recursos y tienen la mayor cantidad de carbono organico alacenado en su biomasa como son los géneros *Scenedesmus spp* y *Cosmrium spp*.

Palabras Clave: algas, carbono, foto biorreactores, captura de carbono, biomasa, microalgas

ABSTRACT

The present work deals with the study of algae as carbon sequestrants, using open photobioreactors to simulate the interaction of atmospheric gases. The process began with the inoculation of each genus of algae, which were later introduced to photobioreactors for reproduction once each biomass weighed 5 gm. The selected algae were indigenous, to avoid research failures. In the pH evaluation, the four groups of algal genera had a progressive alkaline tendency until the third week, reaching a maximum value in the genus *Scenedesmus spp* of 9,33%, which was later neutralized in the following week by algae activity. The carbon concentration evaluation found that the genera with the highest value were *Scenedesmus spp* with a concentration of 7,07 % and *Closterium spp* with a value of 5,85%. In the dry biomass obtained, *Cosmarium spp* had a maximum value of 28,488 gm, followed by the genus *Spirogyra spp* with 1,322 grams. The carbon content was estimated by multiplying the carbon concentration by the weight in kg of dry biomass. The genus *Scenedesmus spp* achieved the highest amount of carbon captured, with 0,0016043244 kg, followed by the genus *Cosmarium spp*, with 0,0016038744 kg. Of the four genera evaluated, the two that make the best use of resources (the genera *Scenedesmus spp* and *Cosmrium spp*) have the greatest amount of organic carbon stored in their biomass.

Key words: algae, carbon, photobioreactors, carbon capture, biomass, microalgae



INTRODUCCIÓN

Fue en la revolución industrial, que tuvo sus inicios en las últimas décadas del siglo XVIII, donde se empezó a utilizar como fuente de energía la combustión de hidrocarburos, los cuales producen una gran cantidad de gases de efecto invernadero; entre ellos, el dióxido de carbono que ha aumentado su concentración en los últimos años, registrándose en el 2015 el pico más alto de este gas con un valor de 400 ppm. El distrito de Moyobamba no es ajeno a esta realidad. Por lo que se propone medidas para la mitigación de este problema ambiental; en ese sentido, una medida importante en los últimos años es la utilización de algas fotosintéticas como capturadores de carbono inorgánico para bio transformarlos en carbono orgánico.

Es importante resaltar que el CO₂ es el elemento que más contribuye al efecto invernadero acentuado (artificial), dentro de los gases de efecto invernadero, el CO₂ es el que se emite en mayor cantidad debido a que es uno de los gases residuales de la combustión de cualquier combustible fósil (Fernández, 2002), El incremento en el uso de combustibles fósiles (Petróleo, gas natural y carbón) para generar electricidad, operar motores, calentar viviendas y proveer calor para los procesos industriales. Ha provocado que grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) sean liberados a la atmósfera. Las emisiones de CO₂, son del orden de 29 millones de toneladas al año. Estas son emisiones generadas por la actividad humana de las cuales 23 millones corresponden a la industria y a la quema de combustibles fósiles provocando un rápido incremento en la concentración de este elemento en la atmósfera.

Existen numerosos efectos potenciales del calentamiento global que afectarían a los seres vivos y al medio ambiente. Las probables consecuencias del calentamiento global incluyen el aumento del nivel de agua de mar, cambios en los patrones de precipitación, la expansión de las zonas afectadas por la sequía cada vez más, olas de calor intenso y los eventos de precipitación más intensa, incremento en la acidez del agua de mar por absorción del CO₂, en última instancia amenaza a toda la cadena alimentaria marina, lo que podría llevar a un evento de extinción masiva. Algunos de estos fenómenos se estarían produciendo en la actualidad, pero es difícil precisar una relación directa con el calentamiento global. En vista de esta problemática, la presente investigación ha tenido como objetivo el aislamiento de cuatro géneros de algas nativas de fácil reconocimiento morfológico para ser cultivadas en foto biorreactores para estimar el CO₂ atmosférico capturado y de esta manera contribuir a

la mitigación del efecto invernadero, reduciendo las concentraciones de dicho contaminante, lo que formular la siguiente interrogante: ¿Cuál es la eficiencia en la captura de carbono atmosférico a partir de cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba?. Siguiendo esta moción la utilización de algas como capturadores de carbono, se propuso determinar la eficiencia en la captura de carbono a partir de cuatro géneros de algas, donde se tuvo que identificar los géneros de algas a tratar cuyos géneros son *Spirogyra spp*, *Scenedesmus spp*, *Cosmarium spp*, *Closterium spp*, registrando su desarrollo al ser cultivadas y por último evaluar la eficiencia que tienen cada uno de los géneros identificados, para saber cuál es el género algal que tiene mayor eficiencia en la captura de carbono.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1.Bases teóricas

Dióxido de carbono.

El dióxido de carbono gaseoso está formado por la combinación de dos elementos: carbono y oxígeno. Se forma por la combustión de carbón o hidrocarburos, la fermentación de materia orgánica, y por la respiración de hombres y animales. Se encuentra en bajas concentraciones en la atmósfera, y es asimilado por las plantas, que en su lugar producen oxígeno. El CO₂ gas tiene un ligero olor irritante, es incoloro, y más pesado que el aire (Ciesla 1996).

El carbono y su ciclo biogeoquímico

El Carbono puede formar parte de diferentes reservorios o componentes, entre los que fluye, constituyendo el llamado ciclo del carbono, de carácter complejo y con gran importancia dentro del sistema Tierra. Entre los reservorios existen dos tipos de movimientos, uno de carácter lento, con un tiempo de residencia alto (ciclo geoquímico) y otro con un tiempo de residencia menor (ciclo biológico). La permanencia en cada reservorio oscila de días a milenios. (García 2014).

El carbono entra en el ciclo biológico a través de la fotosíntesis realizada por organismos foto autótrofos. La mayor parte del carbono se encuentra en los ecosistemas terrestres, formando parte de materia orgánica no viva como restos leñosos. (García 2014).

Valoración del CO₂

El dióxido de carbono puede encontrar un uso alternativo a la simple captura y almacenamiento, mediante una valorización del mismo. No obstante, esto conlleva describir el contexto medioambiental y económico que podría tener esta valorización. Los usos que puede tener el CO₂ se dividen en:

- **Procesos industriales:** donde interviene de manera directa el dióxido de carbono, como por ejemplo, en la industria alimentaria (bebidas carbonatadas y alcohólicas, tratamiento de la leche, fabricación de quesos, envasado/ desinsectación de alimentos, aturdimiento de animales, refrigeración y congelación). El CO₂ en estado supercrítico se puede usar como

solvente para la extracción de compuestos naturales y pigmentos. También se usa en el sector textil, en la limpieza industrial y en la síntesis y modificación de materiales. Además, está generalizado el uso de CO₂ en el tratamiento de aguas residuales. (García 2014).

- **Extracción mejorada de petróleo y gas natural:** Esta técnica se inició en USA en la década de 1960. A los pozos petrolíferos explotados cuya presión es menor que la requerida para la extracción por bombeo se les aplica una inyección de CO₂ que permite recuperar trazas de petróleo que no eran accesibles. Estos depósitos vacíos son idóneos para confinar el carbono, debido a su naturaleza estanca sin fallas ni discontinuidades. La misma idea se aplica para la recuperación de metano en capas de carbón inexplorables. (García 2014).
- **Síntesis de compuestos químicos:** El CO₂ se utiliza en la síntesis de urea (fertilizante), formación de resinas, producción de ácido acetilsalicílico y en la producción sintética de combustible como el metano. (García 2014).
- **Procesos biológicos:** Los organismos fotosintéticos utilizan CO₂ para generar biomasa empleando la energía solar. La composición de esta biomasa puede ser de interés comercial. De esa forma el CO₂ pasa de ser un residuo a convertirse en un producto. El ejemplo más ilustrativo es el empleo de CO₂ para el cultivo de microalgas, microorganismos fotosintéticos, con altas tasas de crecimiento y una composición de metabolitos muy amplia, que posibilita su uso para diferentes aplicaciones, como producción de biocombustibles, industria cosmética, compuestos nutraceuticos, vacunas, biorremediación. (García 2014).

Efecto invernadero y calentamiento global

El efecto invernadero no es, por sí mismo, una amenaza a la vida en la tierra. El problema actual radica en que la actividad humana ha aumentado la concentración de CO₂ y otros gases en la atmósfera. Una mayor cantidad de energía calórica solar tiende así a permanecer atrapada en la atmósfera, elevando la temperatura promedio del planeta (Houghton y Woodwell, 1989).

Los principales gases producto de la actividad humana, que contribuyen a la amplificación del efecto invernadero, son el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), el metano (CH₄), los óxidos nitrosos (N₂O), los cloro- fluor- carbonados (CFCs), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y el ozono troposférico (O₃) (PNUD, 1997). Según la

Convención Marco de las Naciones Unidas existen fuertes evidencias de que el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero debidas a actividades antropogénicas es la causa del aumento de la temperatura media en la tierra. Se cree que como consecuencia del aumento de la temperatura media global, está cambiando el clima del planeta, es el llamado cambio climático. Los principales gases de efecto invernadero responsables del aumento de temperaturas son: dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y un grupo de compuestos gaseosos que contienen cloro y flúor, como halogenuros de carbono, perfluorocarburos y hexafluoruro de azufre. Convención Marco de las Naciones Unidas (IPCC, 2005)

Captura de carbono y almacenamiento

El objetivo de los procesos de captura y almacenamiento de carbono es reequilibrar el balance global de las emisiones, desarrollando una estrategia económica basada en emisiones neutras de carbono. Este tipo de estrategias deberían capturar la mayor parte de las emisiones antropogénicas de una manera segura, estable y medioambientalmente aceptables. Existen diversas opciones tecnológicas para la captura de carbono. La elección de una combinación de algunas de ellas es un factor importante para proponer políticas energéticas para un futuro crecimiento económico. Estas tecnologías pueden agruparse en dos amplias categorías: métodos abióticos y bióticos

Métodos abióticos:

La captura abiótica se basa en reacciones físico-químicas y en técnicas geológicas sin la intervención de organismos vivos. Ha recibido gran atención debido a que las estructuras geológicas y oceánicas poseen mayor capacidad de captura que cualquier método biótico utilizado. Sin embargo, los aspectos técnicos y económicos de este tipo de operación requieren una investigación más profunda.

- **Inyección oceánica:** El CO₂ licuado se inyectaría a gran profundidad para minimizar posibles fugas. La inyección a más de 1000 metros de profundidad se realizaría usando buques, o bien a través de plataformas marítimas que lo harían a más de 3000 metros. Se formaría un lago de dióxido de carbono más denso que el resto de la columna de agua, inmisible, y por tanto más estable. Se estima que la capacidad de este depósito sobrepasaría las reservas actuales de combustibles fósiles. No obstante, aún no es seguro su viabilidad económica ni medioambiental ya que aún no existen estudios que demuestren su estabilidad a largo plazo, ni cómo afectaría a la acidez del agua, a la biota marina y al ciclo global de Carbono.

- Inyección geológica: Se considera como una opción con gran potencial. Los estratos geológicos susceptibles a almacenar CO₂ licuado serían los acuíferos salinos, capas de carbón inexplorables y yacimientos de petróleo y gas natural agotados. Independientemente del tipo de estrato usado, la característica prioritaria debe ser la impermeabilidad y la estanqueidad del reservorio. Ya existen casos prácticos de esta técnica en Noruega.
- Carbonatación mineral: Se consigue mediante la transformación química natural del CO₂ con óxidos metálicos, produciendo carbonatos estables como CaCO₃ o MgCO₃. Estas rocas carbonatadas son estables quedando el CO₂ capturado permanentemente. Es una reacción lenta, con un alto consumo energético y por tanto, cara. Este proceso también puede darse de forma natural en los suelos, en determinadas condiciones físicoquímicas, aunque a tasas muy bajas. (Lal, R. 2008, citado por García 2014).

Métodos bióticos:

Según (Lal, R. 2008, citado por García 2014), la captura biótica corresponde a tecnologías basadas en la utilización de organismos y microorganismos fotosintéticos tanto terrestres como acuáticos para la mitigación de carbono atmosférico. Se estima que los vegetales terrestres podrían asimilar hasta 1,1 Pg de carbono al año-1 mediante las siguientes prácticas:

Gestión de los bosques: Las plantas leñosas forman estructuras resistentes como la lignina donde el Carbono permanece almacenado durante un periodo largo de tiempo. Existen dos aproximaciones:

- a) Protegiendo los ecosistemas boscosos que actualmente asimilan grandes cantidades de Carbono.
 - b) Gestionando bosques para incrementar su productividad. Se calcula que con reforestaciones futuras, los bosques podrían alcanzar tasas de fijación de hasta 5,4 Pg de C año-1 hacia el 2050, Se postula que la productividad primaria de los bosques alcanzaría su máximo con una concentración de CO₂ atmosférico de 800-1000ppm.
- Gestión y uso mejorado de las tierras de cultivo/ganadería. Actualmente la agricultura y la ganadería emiten entre 10-12% del total de GEI, principalmente en forma de metano (fermentación de la materia orgánica residual y ganadería) y N₂O debido al exceso de fertilizantes. Por ello es necesario desarrollar nuevas técnicas agrícolas y ganaderas que reduzcan la dependencia actual de fertilizantes químicos y sintéticos, así como prácticas más sostenibles.

- Gestión de los recursos edafológicos. Muy relacionado con el apartado anterior. Consiste en incrementar la materia orgánica de los suelos, tanto agrícolas como humedales, bosques o zonas degradadas. Con la humificación, aumenta la calidad de los suelos, disminuye la erosión y se fomenta la recirculación del carbono hacia su ciclo biológico. Fertilizando el suelo mediante la inyección de CO₂ a 0,5-1m de profundidad, el incremento de carbono orgánico en el suelo aumentaría hasta tasas de 1000 kg de C ha⁻¹ año⁻¹ con tiempos de residencia de más de 70 años.
- Respecto a los vegetales acuáticos, se estima que el 40% de las emisiones de CO₂ de origen antropogénico emitidas hasta ahora se han fijado en forma de materia orgánica en ecosistemas marinos por fitoplancton. Estos microorganismos se caracterizan por poseer una tasa de renovación de biomasa muy breve (días). Parte de las partículas orgánicas se depositan en el fondo oceánico, quedando capturadas. La distribución del fitoplancton y su productividad primaria está definida por la disponibilidad de luz y nutrientes (N, P y Fe principalmente). Se ha propuesto la fertilización de los océanos con estos nutrientes además de CO₂. No obstante se desconoce las consecuencias que tendría la acidificación de los océanos debido al exceso de dióxido de carbono, y por tanto en el ciclo global del carbono, así como los efectos de una eutrofización de los ecosistemas marinos por exceso de fósforo (P), nitrógeno (N) o hierro (Fe). (Lal, R. 2008, citado por Garcia 2014)

Microalgas.

Por el tamaño, las algas se pueden clasificar en dos grandes grupos: macroalgas y microalgas. Estas últimas son microorganismos con clorofila y otros pigmentos, con multitud de formas, tamaños y colores (más de 30.000 especies) que desarrollan fotosíntesis oxigénica. Ocupan prácticamente todos los hábitats. Estas características, las hace ideales para producirlas como materia prima y/o producto terminado, con valor agregado, debido a las biomoléculas que acumulan durante su desarrollo, entre éstas se pueden citar a las proteínas, lípidos, carbohidratos, pigmentos entre otros que son aprovechados por el hombre para su beneficio. El cultivo de microalgas representa una gran ventaja en diversos campos, desde el científico hasta el comercial, se pueden resumir en tres puntos importantes: 1) El cultivo de microalgas es un sistema biológico eficiente de utilización de energía solar para producir materia orgánica, las mismas que crecen más rápido que las plantas terrestres y es posible obtener mayores rendimientos anuales de biomasa. 2) La composición bioquímica puede modificarse fácilmente variando las condiciones ambientales y/o la composición del medio de cultivo.

3) Su alto potencial por acumular compuestos bioactivos, tales como; proteínas, lípidos, almidón, glicerol, pigmentos naturales o biopolímeros, bajo ciertas condiciones, determina que muchas especies sean de gran interés comercial. (Gómez L. 2007)

Algas como organismos principalmente fotosintéticos, autótrofos (aunque algunos muestran heterotrofia y/o mixotrofia), de hábitat por lo general acuático, talófitos, de estructura unicelular, colonial o compuestos de tejidos simples, que no poseen envoltura o tejido de células estériles en sus órganos de reproducción (Bicudo y Meneses, 2006, citado por García, 2014)

Fotosíntesis oxigénica.

Las microalgas generan su biomasa a través de la fotosíntesis, que es el proceso mediante el cual transforman la luz solar en otras formas de energía aprovechables por todos los organismos usando la luz solar para crear biomasa a partir de CO₂ y agua. Entre los organismos fotosintéticos están las plantas, las algas y cianobacterias.



La actividad fotosintética de las algas comprende a más de un 50% del total de la actividad fotosintética global, y permite transformar la radiación fotosintéticamente activa en energía química mediante una serie de complejas reacciones de oxidación y reducción. (García, 2014).

.Producción de la biomasa de microalgas.

El desarrollo de la tecnología de cultivo intensivo de microalgas, en gran medida, ha sido posible gracias a los nuevos diseños de foto biorreactores que presentan una serie de ventajas respecto a los sistemas de cultivo abiertos, los cuales se caracterizan por presentar baja densidad celular, mayor contaminación y costosa recuperación del producto en medios diluidos(Contreras , 2003).

Las microalgas pueden representar una alternativa interesante como materia prima frente a las plantas oleaginosas, ya que son capaces de crecer en suelos arcillosos o salinos, inadecuados para el crecimiento de otros tipos de vegetales. Su velocidad de crecimiento es

tal, que permiten obtener cosechas repetitivas a intervalos muy cortos, estas características hacen de estos microorganismos los ideales para una producción de biomasa a corto plazo (Band C, 1999).

Foto biorreactores.

Existen diferentes tipos de foto biorreactores dentro de los cuales se encuentran:

- **Abiertos:** Los estanques abiertos fueron los primeros sistemas de cultivo a la intemperie desarrollados a escala industrial para el cultivo de *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*. La explotación de estos sistemas de cultivo puede ser intensiva o extensiva. El sistema abierto de tipo extensivo utiliza grandes superficies (entre 5 y 50 ha) sin agitación mecánica, con una orientación tal que la turbulencia ocasionada por los vientos predominantes en la zona permitan una cierta homogeneización y movimiento de la masa líquida. La explotación extensiva se corresponde con el modo de operación de los lagos naturales, que se han empleado en la producción de hasta 20 t ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa comestible. Los sistemas de cultivo intensivos son estanques horizontales poco profundos tipo carrusel o “raceway”. Cada unidad de cultivo ocupa un área de entre varios y pocos miles de metros cuadrados, estando compuesta de dos o más pistas niveladas de 2 a 10 m de ancho y 15-30 cm de profundidad, separadas entre sí por tabiques verticales, pudiendo adoptar un sistema de meandros.
- **Cerrados:** Los sistemas de cultivo cerrados, de mayor sofisticación tecnológica, representan la alternativa a los estanques abiertos, aportando mejores condiciones para cultivar cualquier microalga al dificultar la invasión por organismos contaminantes. De hecho algunas microalgas sólo pueden ser cultivadas en reactores cerrados puesto que se contaminan con facilidad. Los sistemas cerrados presentan múltiples ventajas frente a los reactores abiertos como un uso más eficiente de la irradiación, que conduce a la producción de cultivos más concentrados, la posibilidad de cultivar todo el año, una disminución de las pérdidas por evaporación, un mejor control de algunas variables como la temperatura y mayor facilidad de operación en continuo.
- **Reactor tubular:** Los foto biorreactores tubulares consisten esencialmente en tubos transparentes de vidrio o material plástico, conectados en serie o en paralelo para formar el colector solar, a través del cual se recircula la suspensión celular. Los tubos pueden estar dispuestos en horizontal, en vertical, formando una espiral o inclinados.

- Reactor plano vertical: Los reactores planos son aquellos en los que el cultivo queda dispuesto en una lámina orientada de manera que la luz incida directamente sobre ella. (Richmond, 2004, citado por Salazar 2012).

Técnicas de recuperación de biomasa.

Hay una amplia gama de métodos de cosecha que puede ser empleado para la recuperación de biomasa de microalgas como la centrifugación, floculación, la sedimentación por gravedad y filtración, o cualquier combinación de estos. Se debe tomar en consideración que la recuperación de la biomasa puede ser un importante problema debido al pequeño tamaño (30 mm de diámetro) de las células de las algas y por tanto, se encuentran diluidas en el agua. Por lo que se requiere manejar grandes volúmenes para recuperar un porcentaje deseable de biomasa, lo cual contribuye al costo final de producción (Molina Grima, 2003, citado por Salazar 2012).

Así también, otro factor importante que influye es la energía, que sigue siendo una de las principales limitantes, porque representa entre un 20% al 30% del costo final de producción. A través de los años se ha demostrado que no existe un proceso universal para los métodos de cosecha de la biomasa. Este tema sigue siendo un área activa de investigación, buscando desarrollar una recolección apropiada y económica para todas las especies de microalgas, ya que cada una tiene sus características particulares de densidad, tamaño, y la calidad de la biomasa. El desafío consiste en concentrar las células de microalgas para que el caldo no sea tan diluido (Gouveia, 2011, citado por García 2014).

Aplicaciones de las microalgas

La biomasa de microalgas puede ser utilizada en la fertilización y acondicionamiento de suelos para uso agrícola, en la detección de contaminantes y evaluación de eco toxicidad, en la depuración de aguas residuales y gases contaminantes y fundamentalmente, en la generación fotosintética de productos de interés agrícola, alimentario, industrial y energético.

Alimentación

- Durante las décadas de 1970 y 1980 se desarrolló un extenso trabajo para la producción a gran escala de cultivos de microalgas como fuente de proteínas. Bajo el concepto “Single-

Cell Protein” se evaluó y estudió multitud de estirpes de microalgas buscando la de mayor contenido proteico así como el perfil de aminoácidos más adecuado para la dieta humana y animal (Borowitzka, 2013). Los géneros con mayor coeficiente de digestibilidad y valor biológico son *Scenedesmus*, *Chlorella* y *Spirulina*.

- Los polisacáridos producidos por *Porphidium* o *Rhodella*, así como el de muchas cianobacterias, sí tienen aplicación como espesantes en diversos sectores industriales: alimentación, cosmética, pinturas, etc... aunque con un mercado restringido debido a alternativas más económicas como los polisacáridos producidos por macroalgas o por plantas superiores. (Borowitzka, 2013).
- La biomasa de microalgas es rica en pigmentos que se utilizan como colorantes alimentarios y precursores de vitaminas. En acuicultura tienen aplicación para mejorar la supervivencia y maduración del sistema inmune y la pigmentación de la carne y piel de pescados y crustáceos (Walker et al., (2005) citado por García, 2014).

Fertilización

- Las microalgas pueden ser utilizadas como fertilizantes en agricultura sostenible. Dentro de las comunidades microbianas desarrolladas en los suelos, las microalgas y cianobacterias juegan un papel fundamental en la recirculación y biodisponibilidad de elementos importantes como fósforo (P) y por tanto, en el acondicionamiento de suelos agrícolas (Walker et al., (2005) citado por García C, 2014).

Biorremediación

Se ha propuesto el uso de microalgas en procesos de Biorremediación tales como eliminación de dióxido de carbono proveniente de gases de escape de plantas industriales, tratamientos de aguas residuales o remoción de metales pesados provenientes de afluentes contaminados por la minería o zonas altamente contaminadas. La posibilidad disponer de una fuente de carbono económica hace que se esté valorando el cultivo de microalgas a escala industrial en instalaciones anexas a grandes centros de emisión de CO₂ como pueden ser las centrales térmicas y cementeras con el doble objetivo de reducir sus emisiones y de generar un producto con diversas aplicaciones. Sin embargo, algunas de estas fuentes emisoras producen un gas con altas concentraciones de dióxido de carbono, así como de

compuestos oxidados de nitrógeno y azufre, que no son adecuados para su aplicación al cultivo de microalgas (Barker et al., 2009, citado por García C. 2014).

Descripción de los cuatro géneros de algas.

- ***Cosmarium spp***

Clasificación taxonómica:

Phylum chlorophyta

Clase zygnematophyceae round

Orden desmidiates (menegh.) Pasche

Familia Desmidiaceae Ralfs

Cosmarium Corda ex Ralfs

Características:

Células solitarias con una constricción en la parte media (seno) bien marcada y un istmo bien definido; margen con senos abiertos o cerrados, semicélulas enteras, sin proyecciones celulares como lóbulos o ramas; vista apical bipolar, elíptica, semicircular o casi circular, reniforme o triangular y en ocasiones con una protuberancia en el centro; cloroplastos 1- varios en cada semicélula, pirenoides 1- varios; pared celular lisa o con ornamentaciones como verrugas, gránulos, espinas cortas.

Diversidad: cerca de 1000 especies con 1500 variedades.

Distribución: Cosmopolita. (Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, 2012)

- ***Scenedesmus spp***

Clasificación taxonómica:

Phylum chlorophyta

Clase Acutodesmus

Orden Acutodesmus dimorphus

Familia Desmidiaceae Ralfs

Características:

Cenobios planos, lineales, compuestos de 4 - 8 células en una o dos filas lineares o alternadas. Células anchas fusiformes u oval-fusiformes, con ápices estrechados

gradualmente; células internas rectas, con ápices ligeramente inclinados hacia un lado; células externas curvadas hacia afuera pero sólo a partir de la región subapical.

Dimensiones celulares: 13,8-22,4x2,8- 5,5 μm . (Mendoza, 2015).

- ***Closterium spp***

Clasificación taxonómica:

Phylum Chlorophyta

Clase zygnematophyceae hoek, mann & jahn

Orden desmidiates (menegh.) Pascher

Familia closteriaceae Ehrenb. ex Pritch

Características:

Células rectas, fusiformes, arqueadas a lunadas, con ápices que se adelgazan progresivamente en grado variable y sin constricción en la parte media de la célula, en el ápice una vacuola con gránulos de calcio (sulfato de calcio); cloroplastos axiales con costillas longitudinales, pirenoides numerosos alineados o cloroplastos masivos y pirenoides en desorden; pared celular lisa o con estriaciones longitudinales, la parte ecuatorial puede presentar bandas de crecimiento longitudinal que se producen después de la división celular. Reproducción sexual con cigotos que según los autores son de importancia taxonómica, sin embargo son pocas especies en los que se han observado.

Diversidad: Género con más de 150 especies válidas en el mundo.

Distribución: Cosmopolita. (Mendoza, 2015).

- ***Spirogyra spp***

Clasificación taxonómica:

Phylum chlorophyta

Clase zygnematophyceae hoek, mann & jahn

Orden zygnematales willi krieg.

Familia spirogyraceae black. et Tensl.

Características:

Células cilíndricas, largas, truncadas en sus extremos. Poseen 4 cloroplastos espiralados, parietales, delgados, de color verde pálido, con numerosos pirenoides.

Dimensiones: 163,3 – 344,4 x 47,8 – 64,0 μm .

Material estudiado: P-12

Distribución: Desconocida. (Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, 2012).

1.2. Antecedentes de la investigación

En la investigación “Evaluación de las Condiciones de Cultivo Autotrófico de Microalgas *Chlorella* para la Producción de Biodiesel” se concluye que no se encontró una relación directa entre la temperatura y la variación de la biomasa de *G. vermiculophylla* en laguna San Ignacio. (Dávila, 2013).

En la tesis “Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas” La cianobacteria *Synechocystis sp.* es el aislado autóctono que mayor velocidad específica de crecimiento presenta, superando incluso a algunas de las microalgas referenciadas para la biofijación de CO₂. La propiedad diferencial de *Synechocystis sp.*, que la convierte en una especie con alto potencial para sistemas de cultivo másicos es un aprovechamiento eficiente de la luz en cultivos densos, también concluye que en la columna de burbujeo, la fijación de CO₂ aumenta con la velocidad superficial del gas hasta a 0,0066 m/s. A mayores velocidades del gas y turbulencias, la fijación de CO₂ no mejora sensiblemente. (Martínez, 2010).

En el reporte final para el laboratorio tecnológico de energía nacional, titulado biofijación de CO₂ y gases de efecto invernadero con microalgas mediante la tecnología Roadmap, comprobó los múltiples procesos en los que se aplica esta tecnología con microalgas entre ellas la captura de CO₂ proveniente de plantas termoeléctricas o fuentes similares y el uso del CO₂ en aguas residuales para la producción de metano, mediante el desarrollo de técnicas específicas con microalgas para cada proceso. La investigación se enmarcó en un diseño experimental de carácter descriptivo, donde el investigador concluyó lo siguiente. Los foto biorreactores para los procesos de biofijación deben permanecer abiertos (salvo el inoculo). Los biocombustibles no pueden retrasar el calentamiento global, solo disminuye uno de los gases de efecto invernadero. (Benemam, 2003, citado por Martínez, 2010).

En el boletín botánico presentado a la academia Sinica, titulado algunas microalgas taiwanesas para la fijación de CO₂, seleccionaron 217 microalgas que contribuyeran a la fijación de CO₂, de lagos, estanques, sedimentos del mar en Taiwán, de estas experimentaron con dos microalgas unicelulares, la *Chlorella sp.*NTU-H15 y la *Chorella sp.*NTU-H25. La investigación se enmarcó en un diseño experimental de carácter descriptivo, los resultados mostraron que las algas tenían la misma proporción de crecimiento en el rango de 5 a

40%(v/v) de CO₂ y que la *Chlorella.sp.*NTU-H15 pudo tolerar concentraciones más altas de CO₂ en un rango amplio de temperatura y pH. (Chang y Yang 2003, citado por Martínez, 2010).

En la tesis “Evaluación de métodos de extracción de aceite de microalgas para producción de biodiesel” concluye que para las tres especies de microalgas analizadas los contenidos de aceite promedio obtenidos estuvieron en el rango de 14-18% para *Chaetoceros calcitrans*, 20-25% para *Dunaliella tertiolecta* y 9-13% para *Nannochloropsis sp.* de la biomasa microalgal seca obtenida del cultivo las que tienen una importante calidad de biomasa la que pude ser utilizada con otros fines. (Salazar, 2012)

En la tesis “Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂” Resulta patente que *Senedesmus vacuolatus* es una microalga con amplia tolerancia a cambios de pH, siendo viable su cultivo en todo el intervalo ensayado. El mayor rendimiento se obtuvo a pH 7,5 con una productividad de biomasa. Al ensayar condiciones de cultivo más alcalinas, tampoco se registraba un descenso dramático, en la productividad de biomasa ni en la fijación de CO₂. A valores de pH 8, 8,5 y 9, los cultivos de *Senedesmus vacuolatus* presentaron productividades superiores a 0,4 g L⁻¹ d⁻¹, con una asimilación de CO₂ de 0,9 g L⁻¹ d⁻¹. Por consiguiente, el comportamiento de esta microalga fue bastante estable dentro del margen de pH ensayado, manteniendo entre 75 y 80% de la productividad máxima. (García, 2014)

En la tesis “Determinación del potencial de captura de carbono en cinco especies forestales de dos años de edad, Cedro nativo, (*Cedrela odorata*) Caoba, (*Swietenia macrophylla*.) Bolaina, (*Guazuma crinita*) Teca, (*Tectona grandis*) y Capirona, (*Calycophyllum sprucearum*) en la localidad de Alianza San Martín 2009” concluye que la cantidad de carbono almacenado a los 2 años y 8 meses de las especies forestales en investigación es de: Bolaina (*Guazuma crinita*.) 2,42TnC/ha, Teca (*Tectona grandis*) 2,14TnC/ha, Cedro Nativo (*Cedrela odorata*) 1,03TnC/ha, Capirona (*Calycophyllum sprucearum*) 0,91TnC/ha, Caoba. (*Swietenia macrophylla*.) 0,68TnC/ha. (Quitoran, 2009).

1.3. Definición de términos básicos

Biomasa: Incluye todo un conjunto muy heterogéneo de materias orgánicas. Por tanto por su origen como por su naturaleza, comprendiendo productos de biomasa producidos por algas. (Vergara, 2009)

Cultivo celular: Es el proceso mediante el que células, procariotas o eucariotas como son las algas, pueden cultivarse en condiciones controladas. (Manarin, 2015).

CO₂: Molécula gaseosa eliminada por los seres vivos durante la respiración y que es utilizada por las algas durante la fotosíntesis. Extraído de <http://www.infojardin.net/glosario/clamidospora/co2.html>

Fijación CO₂: La fijación de CO₂ es un proceso que resulta de la fotosíntesis elaborada por las algas, mediante el cual el dióxido de carbono es capturado y transformado en material orgánico o biomasa. (Richmond.2004, citado por Salazar 2012)

Fotosíntesis: Proceso químico que tiene lugar en organismos con clorofila y que permite, gracias a la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía. (Diccionario de la Real Academia Española. 2017)

Microalgas: Grupo de plantas talofitas, unicelulares o pluricelulares, que viven preferentemente en el agua, tanto dulce como marina, y que en general están provistas de clorofila, acompañada en ocasiones de otros pigmentos de colores variados que enmascaran a ésta; el talo de las algas pluricelulares tiene forma de filamento, de cinta o de lámina y puede ser ramificado. (Richmond.2004, citado por Salazar, 2012)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y METODOS

2.1. Materiales

- Lapiceros y lápices.
- Guantes.
- Termómetro digital.
- Peachimetro
- Frascos recolectores para muestras
- Foto biorreactores.
- Equipo portátil.
- Impresora.
- Cámara fotográfica digital.
- Calculadora.
- Bomba de aire.
- Microscopio binocular.

2.2. Métodos

Recolección de datos

Esterilización y preparación de los materiales

Los materiales utilizados se esterilizaron en una autoclave a 121 ° C, 1,2 bares durante 20 minutos, para evitar la contaminación de agentes patógenos que podrían alterar datos en la investigación.

Aislamiento e identificación de los géneros de algas

El aislamiento de algas es necesario para la clasificación e identificación de los diversos géneros presentes en aguas naturales o residuales de la zona. El método empleado es el de aislamiento sobre placa Petri. El procedimiento consiste en lo siguiente: se toma un mililitro de cultivo de algas y se dispersa en la superficie de una placa Petri con agar nutritivo específico para el crecimiento de algas (Algae Agar, Scharlaub) Guillard F/2. Tras el crecimiento en masa por toda la superficie de la placa, se recoge con el asa de siembra biomasa de la superficie y se dispersa en agua destilada estéril. A continuación, se sumerge el asa de siembra en esta suspensión y tras la llama, el asa de siembra es arrastrada sobre el agar de una nueva placa. Esta forma de aislamiento se conoce como la técnica de “arrastre”, que permite el crecimiento de colonias separadas unas de otras y sin que haya contacto posible entre ellas, ya que se encuentran fijadas a un medio sólido (Andersen, 2005, citado por Jaramillo, 2011)

Las placas se cultivan a 24° C en cámara de cultivos vegetales, con una intensidad de luz de 300 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$, procedente de lámparas fluorescentes, en ciclo de 12 horas luz/12 horas oscuridad. Cuando se observa crecimiento de algas en colonias separadas, se toman con el asa de siembra varias colonias individuales, para llevar cada una de ellas a otra placa, permitiendo de nuevo su crecimiento en colonias individuales. El número de colonias transferidas a una nueva placa dependerá del número de especies que contenga el cultivo que debe separarse. El proceso se repite hasta que se compruebe, tras su dispersión en agua destilada y observación en el microscopio, que se trata de un cultivo monoalgal de cada género especificados (Andersen, 2005). Todo el proceso se ha esquematizado en la siguiente figura.

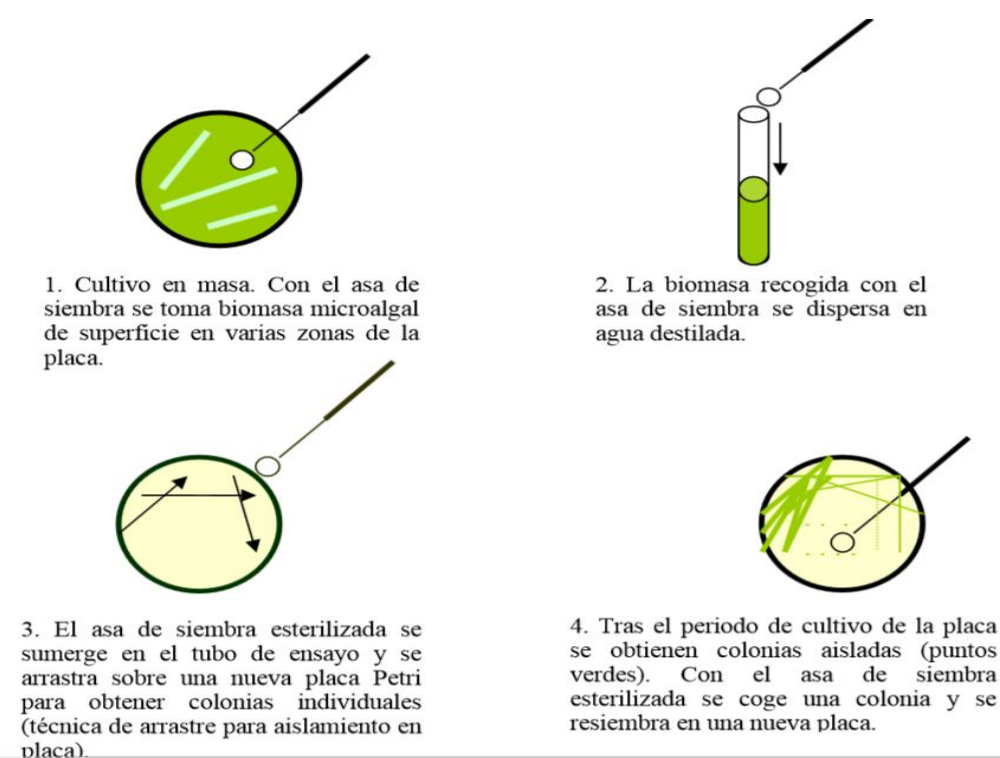


Figura 1. Aislamiento de algas (Fuente: IMARPE (Instituto del mar del Perú), Noviembre 2011.)

Cultivo de algas en ambiente controlado

La técnica consiste en aumentar el cultivo de microalgas utilizando recipientes de diferentes volúmenes. Ésta se basa en trasvasar de un recipiente de menor capacidad a otro de mayor capacidad, una determinada cantidad de cultivo celular, de manera tal, que el número de células por mililitros (capacidad de carga) aumente en un determinado periodo de tiempo. En este nivel se usan nutrientes químicamente puros (de 0,5 a 1,0 L) e industriales (a partir de 7 L), los cultivos tienen que ser altamente puros. El proceso de cultivo para el cosechado

normalmente tiene una periodicidad de 30 días. IMARPE (Instituto del mar del Perú), Noviembre 2011.

El tipo de foto biorreactor seleccionado para el cultivo de algas es el abierto debido a que en la investigación se pretende una mejor interacción de las algas con la atmósfera que contiene el gas que se pretende capturar (CO₂), sin el uso de agitadores mecánicos para disminuir el uso de energía en el proceso de desarrollo de la investigación.

Obtención de biomasa algal

IMARPE (Instituto del mar del Perú), Noviembre 2011. La técnica consiste en concentrar el cultivo líquido a través de una centrífuga separadora de limpieza manual. Ésta se basa en separar el líquido del medio donde crecen las células con la mínima destrucción, a fin de obtener un alto contenido del metabolito acumulado durante la etapa de cultivo.

$$\mathbf{BH = P1 - P}$$

$$\mathbf{BS = P3 - P4}$$

Donde:

BH=biomasa húmeda (g)

BS=biomasa seca (g)

P1=peso total biomasa húmeda (bandeja más biomasa húmeda) (g)

P2=peso bandeja (g)

P3=peso total biomasa seca (bolsa hermética + biomasa seca) (g)

P4=peso bolsa hermética (g)

Cálculos

Según el “Primer taller de mecánica de suelos – Marzo 2006”. Universidad Nacional de Ingeniería.

Para determinar el contenido de humedad (w) de la muestra se aplica la siguiente expresión:

$$\mathbf{w = (Mh - Ms) / (Ms - Mr) * 100 (\%)}$$

Donde:

Mh = peso recipiente más la muestra de suelo húmedo (grs.)

M_s = peso recipiente más la muestra de suelo seca (grs.)

M_r = peso recipiente (grs.)

Para (Montgomery, 2006) La tasa de crecimiento se expresará por la relación existente entre la peso final y el peso inicial. Es decir: P_f/P_i

Donde:

P_f es la población final.

P_i es la población inicial

Con esta fórmula es posible estimar el tamaño relativo del peso final respecto al inicial. El crecimiento relativo porcentual que tuvo la población durante el período que va desde el momento inicial al final se calcula de la siguiente manera:

$$(P_f - P_i) / P_i * 100$$

Determinación del contenido de carbono

Para estimar el contenido de carbono en la biomasa en algas se utilizó la fórmula propuesta por Acosta (2003) la cual se expresa:

$$C = BT * FC$$

Donde:

C = Contenido de carbono;

BT = Biomasa total (kg).

FC = Factor de carbono (determinado directamente en el laboratorio)

Para encontrar el factor, se somete la biomasa a un proceso de oxidación que convierte los compuestos orgánicos a dióxido de carbono, ya sea por calentamiento a casi 2000 grados Celsius, químicamente, o el uso de la radiación ultravioleta. La eficiencia de este método

asegura la conversión completa de carbono orgánico en dióxido de carbono, que puede ser medida por un detector de CO₂ que mide la cantidad de gas. (Acosta, 2003).

La cantidad de CO₂ se registra mediante el análisis de carbonos orgánicos totales (COT) y este a su vez es proporcional al contenido de carbono de la muestra de biomasa obtenida. (Rodier, 1989). En el caso de esta investigación a la biomasa producida por los cuatro géneros de algas.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Chi-Cuadrado (X²) es el nombre de una prueba de hipótesis que determina si dos variables están relacionadas o no.

Para aplicarla se procede con los siguientes pasos

- Realizar una conjetura
- Escribir la hipótesis nula y alternativa
- Calcular el valor de X²calc.
- La ecuación para el chi-cuadrado es la siguiente: “ $x^2 = \sum((o-e)^2/e)$ ”. El chi-cuadrado (escrito “x²”) es un valor numérico que mide la diferencia entre los valores “esperados” y los “observados” de un experimento.
- Determinar el valor de p y el grado de libertad
- Obtener el valor crítico
- Realizar una comparación entre Chi-Cuadrado calculado y el valor crítico
- Interpretar la comparación

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUCIONES

3.1. Identificación de los cuatro géneros de algas fotosintéticas.

Ubicación de muestras

Las zonas y puntos de muestreo se hicieron tomando en cuenta los siguientes criterios: El medio de vida de las microalgas, como son aguas estancadas en distintos lugares del distrito de Moyobamba, con diferentes características ambientales, estas características proporcionaron una gran habidad donde buscar los cuatro géneros propuestos para la investigación. Las muestras tomadas fueron estanques, ríos y quebradas, humedales, desagües.

Identificación de algas

Con la ubicación de cada punto de muestreo se procedió a hacer la recolección de muestras utilizando diferentes tipos de técnicas (recolección directa con botella y la captura con red), para lograr el objetivo de encontrar los géneros de algas propuestas para la investigación, en zonas con un volumen de agua extenso se procedió utilizando la red de Bongo por la facilidad que nos brinda al recolectar fitoplancton en ambientes de agua con mucho volumen, en las zonas de muestreo con una mínima cantidad de agua se procedió a la recolección directa con botella.

La identificación de los cuatro géneros de algas se hizo mediante la utilización de microscopio porque las algas tratadas son de un tamaño muy reducido y sus características se observan a nivel celular; el proceso de identificación se hizo con apoyo del Blgo. M.Sc Luis Eduardo Rodríguez Pérez, por el método de la observación directa al microscopio, las características morfológicas que se observaron en cada género algal se describen a continuación:

- ***Cosmarium spp***

Células con una constricción en la parte media (seno) bien marcada y un istmo bien definido. Ver anexo 04.

- ***Scenedesmus spp***

Células anchas fusiformes u oval-fusiformes, con ápices estrechados gradualmente; con ápices ligeramente inclinados hacia un lado. Ver anexo 04.

- ***Closterium spp***

Células rectas, fusiformes, arqueadas alunadas, con ápices que se adelgazan progresivamente en grado variable y sin constricción en la parte media de la célula. Ver anexo 04.

- ***Spirogyra spp***

Células cilíndricas, largas, truncadas en sus extremos, filamentosas, delgados, de color verde pálido, con numerosos paranoides. Ver anexo 04.

La ubicación de los cuatro géneros de algas fue elaborada en un mapa con coordenadas UTM – WGS – 84 ver anexo 17, las coordenadas donde fueron encontradas las algas de los diferentes géneros son los siguientes.

Tabla 2:

Ubicación de los cuatro géneros de algas encontradas

Género	COORDENADAS UTM WGS – 84		Ubicación
	Este	Norte	Lugar
<i>Scenedesmus spp</i>	288126	9328927	Marona
<i>Cosmarium spp</i>	278385	9331247	Carretera FBT km 490
<i>Closterium spp</i>	282144	9332639	Jr Tarapoto – Moyobamba
<i>Spirogyra spp</i>	281633	9331259	Jr Lamas – Moyobamba

En la investigación se lograron encontrar los géneros algales en la ubicación correspondiente mostrada en la tabla 2.

3.2. Registro del desarrollo de algas

Tabla 3:

Biomasa inicial

	<i>Spirogyra Spp</i>	<i>Scenedesmus Spp</i>	<i>osmarium Spp</i>	<i>Closterium Spp</i>
M1	6,00	6,00	6,00	6,00
M2	1	1	1	1
Aplicando $MH = M1 - M2$				
MH= Biomasa húmeda				
M1= Peso total biomasa				
ffM2= Peso recipiente				
MH	5,0	5,0	5,0	5,0

Se procedió con la introducción en los foto biorreactores, la misma cantidad de biomasa inicial que es 5 gramos, para obtener un resultado con el que se pueda comparar en las mismas condiciones, con respecto a la cantidad de biomasa inicial.

Tabla 4:

Biomasa final húmeda.

	<i>Spirogyra Spp</i>	<i>Scenedesmus Spp</i>	<i>Cosmarium Spp</i>	<i>Closterium Spp</i>
P1	319,865	249,439	212,148	252,187
P2	100	100	100	100
Aplicando $BH = P1 - P2$				
BH= Biomasa húmeda				
P1= Peso total biomasa				
P2= Peso recipiente				
BH	219,865	149,439	212,148	152,187

En la tabla 4 se aprecia que el género de alga con mayor humedad es *Spirogyra spp* con un valor de 219,865 gramos, que supera con gran diferencia al género *Scenedesmus spp* que obtuvo un peso de 149,439 gramos bajo las mismas condiciones de muestreo.

Tabla 5:

Biomasa seca.

	<i>Spirogyra Spp</i>	<i>Scendesmus Spp</i>	<i>osmarium Spp</i>	<i>Closterium Spp</i>
P3	67,322	72,692	78,488	64,399
P4	50	50	50	50
Aplicando $BS=P3-P2$				
BS= Biomasa seca				
P3= Peso total biomasa				
P4= Peso recipiente				
BS	17,322	22,692	28,488	14,399

En la tabla 5 se aprecia que el género de alga con mayor biomasa seca es *Cosmarium spp* con un valor de 28,488, que supera con gran diferencia al género *Closterium spp* que obtuvo un valor de 14,399 bajo las mismas condiciones de muestreo.

Tabla 6:

Porcentaje de humedad

	<i>Spirogyra Spp</i>	<i>Scendesmus Spp</i>	<i>Cosmarium Spp</i>	<i>Closterium Spp</i>
Aplicando $C = ((BH-BS)/BH)*100$				
C= porcentaje de humedad				
BS	17,322	22,692	28,488	14,399
BH	219,865	149,439	212,148	152,187
C	92,121	84,815	86,571	90,538

En la tabla 6 se aprecia que el género de alga con mayor porcentaje de humedad es *Spirogyra spp*, que se mantiene muy cerca al género *Scenedesmus spp* bajo las mismas condiciones de muestreo y cultivo.

Tabla 7:

Tasa de crecimiento de biomasa

	<i>Spirogyra spp</i>	<i>Scenedesmus spp</i>	<i>Cosmarium spp</i>	<i>Closterium spp</i>
Aplicando $TCB = ((BH - MH) / BH) * 100$				
TCB= Tasa de crecimiento biomasa				
BH= biomasa húmeda final				
MH= biomasa húmeda inicial				
MH	5,00	5,00	5,00	5,00
BH	219,865	149,439	212,148	152,187
TCB	97,72	96,65	97,64	96,71

En la tabla 7 se aprecia que el género de alga con mayor tasa de crecimiento en su biomasa es *Spirogyra spp*, que supera con gran diferencia al género *Scenedesmus spp* bajo las mismas condiciones.

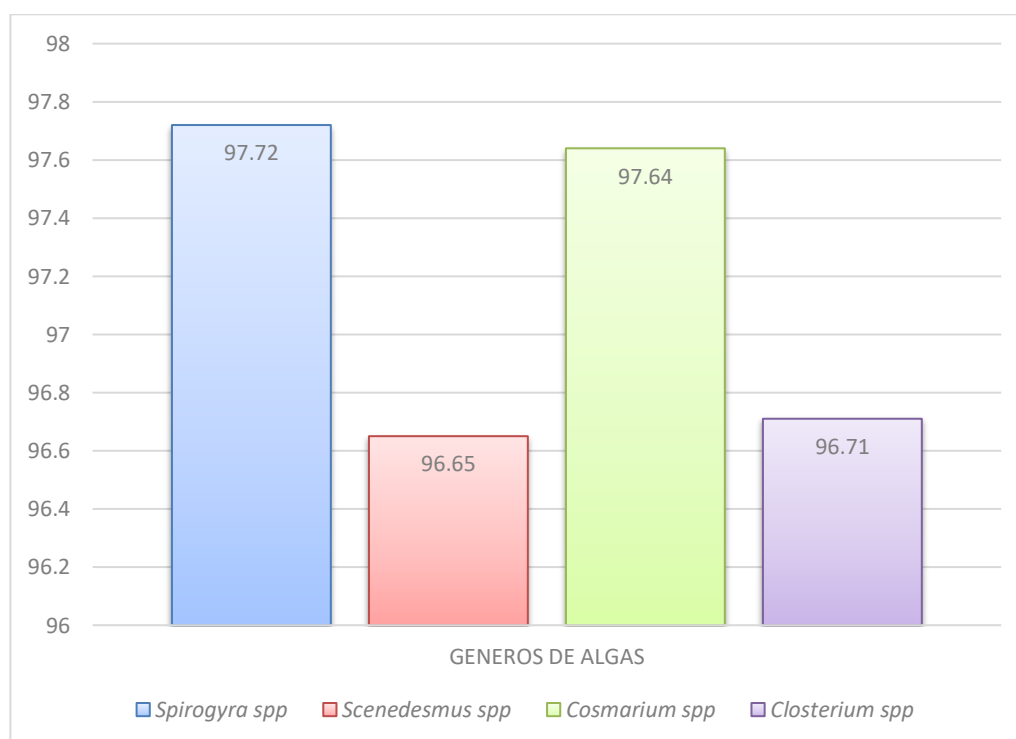


Figura 2. Tasa de crecimiento biomasa algal

En la figura 2 se aprecia la magnitud con la que el género de alga con mayor tasa de crecimiento en su biomasa es *Spirogyra spp*, que supera con gran diferencia al género *Scenedesmus spp* bajo las mismas condiciones de cultivo.

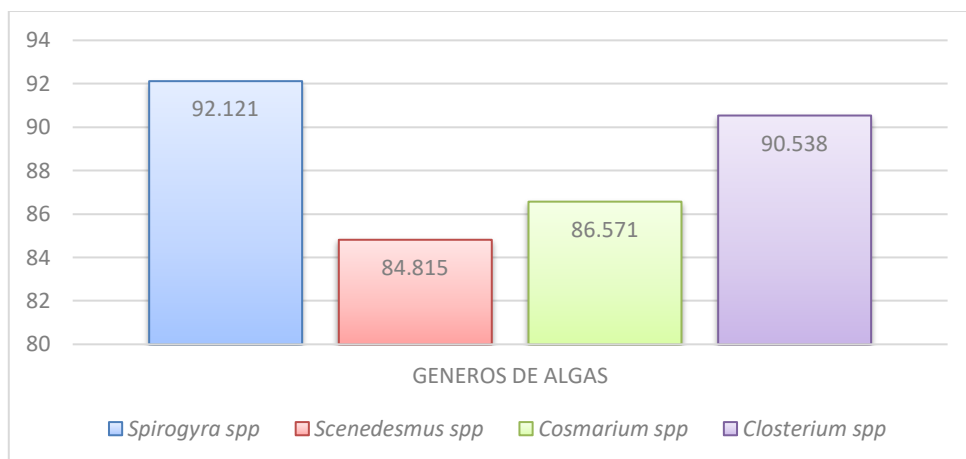


Figura 3. Porcentaje de humedad

En la figura 3 en representación de la tabla 6 se aprecia que el género de alga con mayor porcentaje de humedad es *Spirogyra spp*, que se mantiene muy cerca al género *Closterium spp*, junto a los otros géneros de algas que tienen un porcentaje de humedad elevado por las mismas condiciones en las que se desarrollan bajo las mismas condiciones de cultivo, el género de alga que menos porcentaje de humedad tiene es *Scenedesmus spp* con un valor de 84,815.

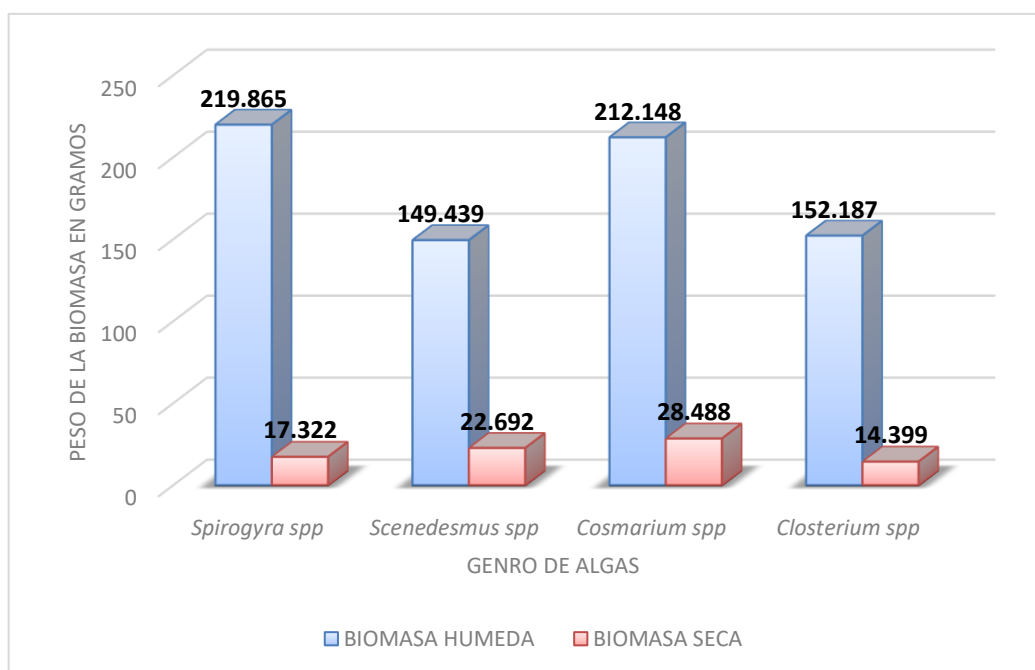


Figura 4: Comparación peso seco, peso húmedo- Biomasa final

Figura 4 se aprecia la gran diferencia de humedad del género *Spirogyra spp* con respecto a los otros géneros tratados, se diría que el género *Scenedesmus spp* es el más eficiente en este aspecto bajo las mismas condiciones de cultivo.

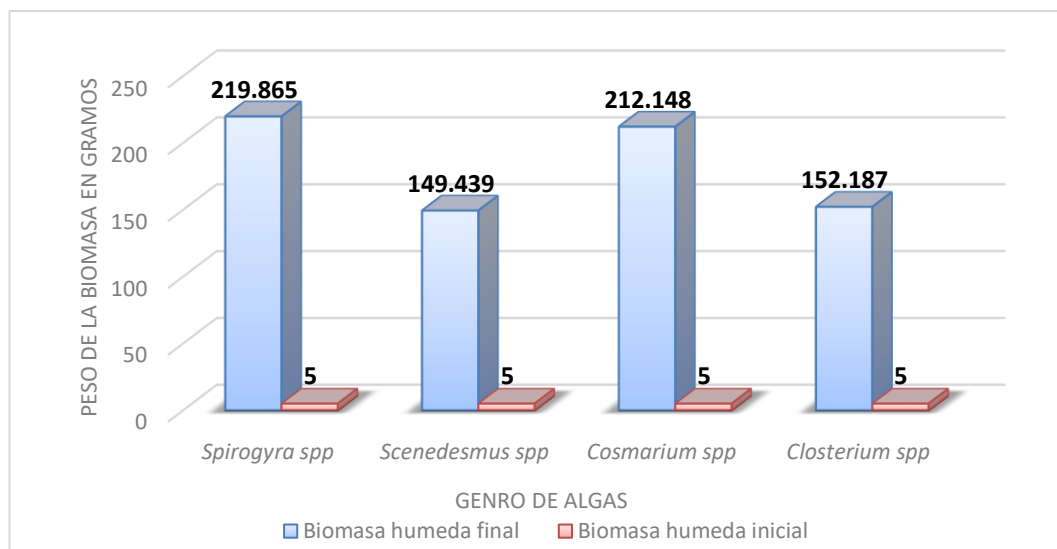


Figura 5: Comparación biomasa inicial- Biomasa final

En la figura 5 se aprecia que los géneros de algas con mayor crecimiento de biomasa fueron *Spirogyra spp* y *Cosmarium spp* con valores de 219,865 gramos y 212,148 gramos respectivamente, que superan en más de 50 gramos a los géneros *Scenedesmus spp* y *Closterium spp* que tienen valores de 149,439 gramos y 152, 187 gramos respectivamente.

Resultados obtenidos de pH

Tabla 8:

Registró el pH de cada foto biorreactor

Número de muestra	<i>Spirogyra Spp</i>	<i>Scenedesmus Spp</i>	<i>Cosmarium Spp</i>	<i>Closterium Spp</i>
1	6,92	6,86	7,90	6,99
2	7,82	8,09	7,96	7,92
3	8,46	9,33	8,02	8,10
4	9,05	9,14	8,61	8,40
5	7,90	8,06	7,97	7,58
6	6,75	6,98	7,33	6,76

Se registró el pH de cada foto biorreactor que contenía los géneros algales introduciendo el sensor del peachimetro en el medio, y esperando la estabilización de los valores mostrados en la pantalla del sensor, los registros se hicieron cada cinco días. En la tabla 8 apreciamos que a partir de la segunda muestra tomada se empieza a incrementar el valor de pH obteniéndose el máximo valor en el género *Scenedesmus spp* con un valor de 9,33 que posteriormente disminuyó, y el menor valor registrado pertenece al género *Spirogyra spp* con un valor de 6,75 que denotaría una diferencia grande.

Figura representando la variación de pH.

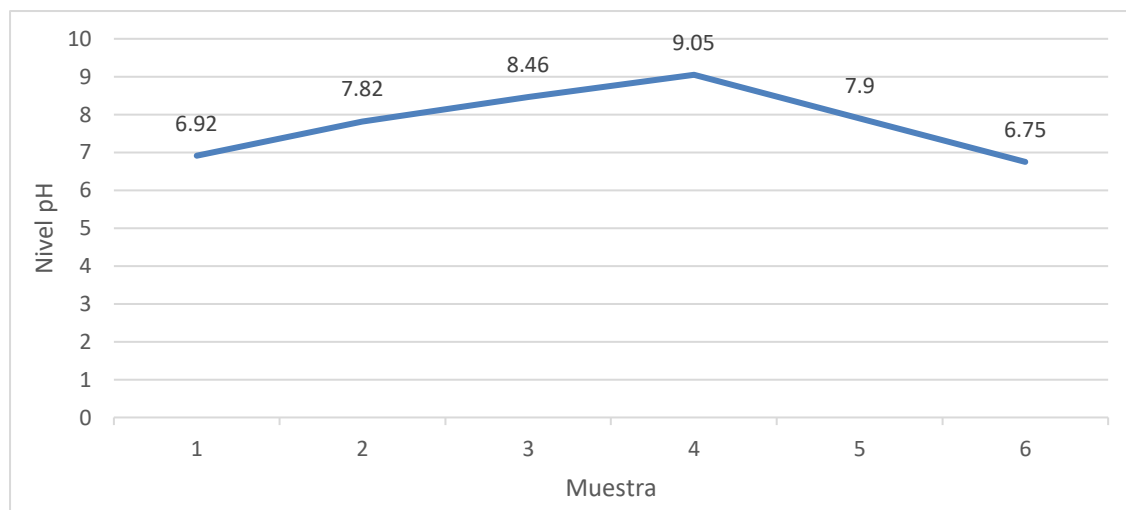


Figura 6. Valores pH Spirogyra spp

En el Figura 6 apreciamos que el valor máximo obtenido fue 9,05 en la toma de muestra número cuatro con cada género de alga tratada bajo las mismas condiciones.

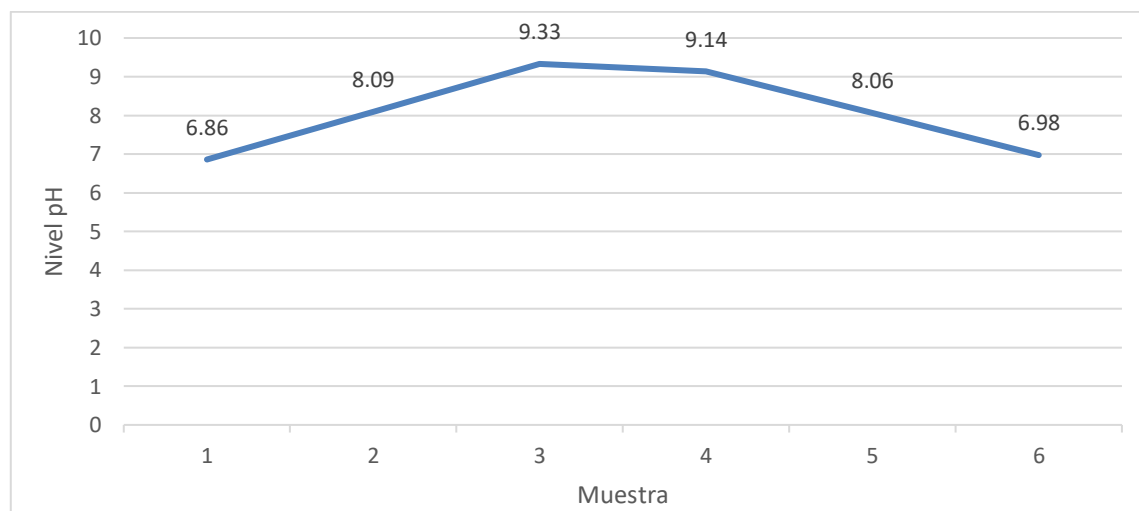


Figura 7. Valores pH Scenedesmus spp

En la figura 7 apreciamos que el valor máximo obtenido fue 9,33 en la toma de muestra número tres con cada género de alga tratada bajo las mismas condiciones.

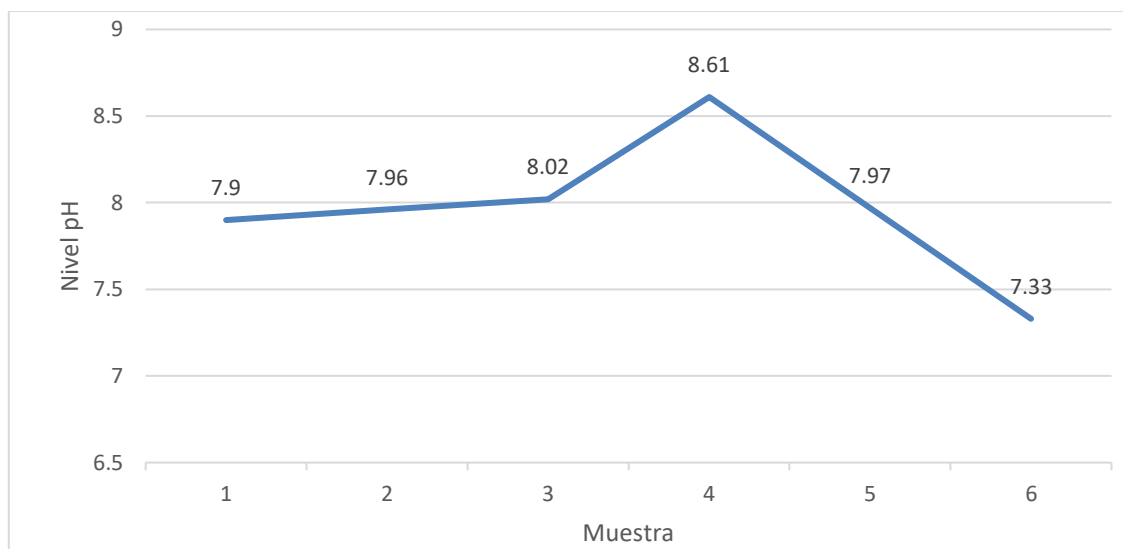


Figura 8. Valores pH *Cosmarium spp*

En la figura 8 apreciamos que el valor máximo obtenido fue 8,61 en la toma de muestra número cuatro con cada género de alga tratada bajo las mismas condiciones.

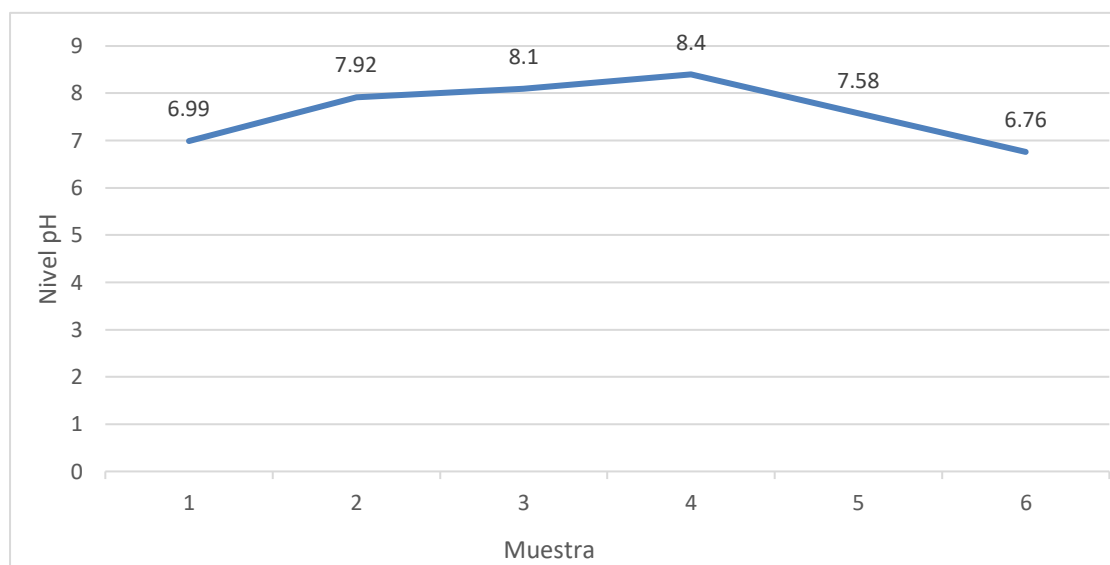


Figura 9. Valores pH *Closterium spp*

En la figura 9 apreciamos que el valor máximo obtenido fue 8,4 en la toma de muestra número cuatro con cada género de alga tratada bajo las mismas condiciones.

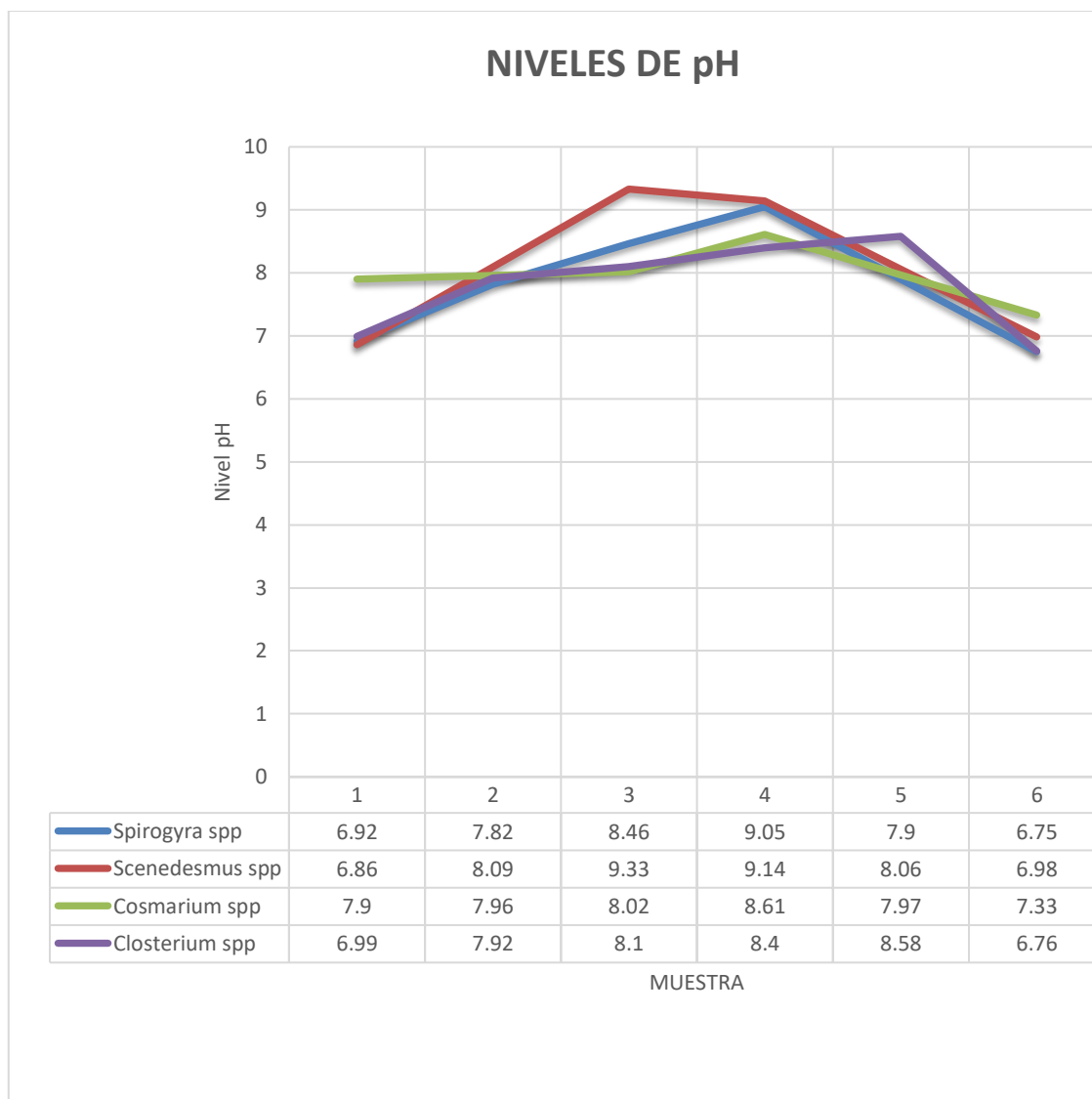


Figura 10. Comparación niveles de pH entre los géneros de algas

En la figura 10 apreciamos que a partir de la segunda muestra tomada se empieza a incrementar el valor de pH obteniéndose el máximo valor en el género *Scenedesmus spp* con un valor de 9,33 que posteriormente disminuyó, y el menor valor registrado pertenece al género *Spirogyra spp* con un valor de 6,75 que denotaría una diferencia grande.

Resultado temperatura

La temperatura promedio en el mes de marzo registrado durante 5 años en la estación meteorológica más cercana que es la de Moyobamba realizado por SENAHMI es de 23.9°C, y cuyos valores diarios de los registros se promediaron y se representa en el siguiente gráfico. Datos registrados ver anexo número 15.

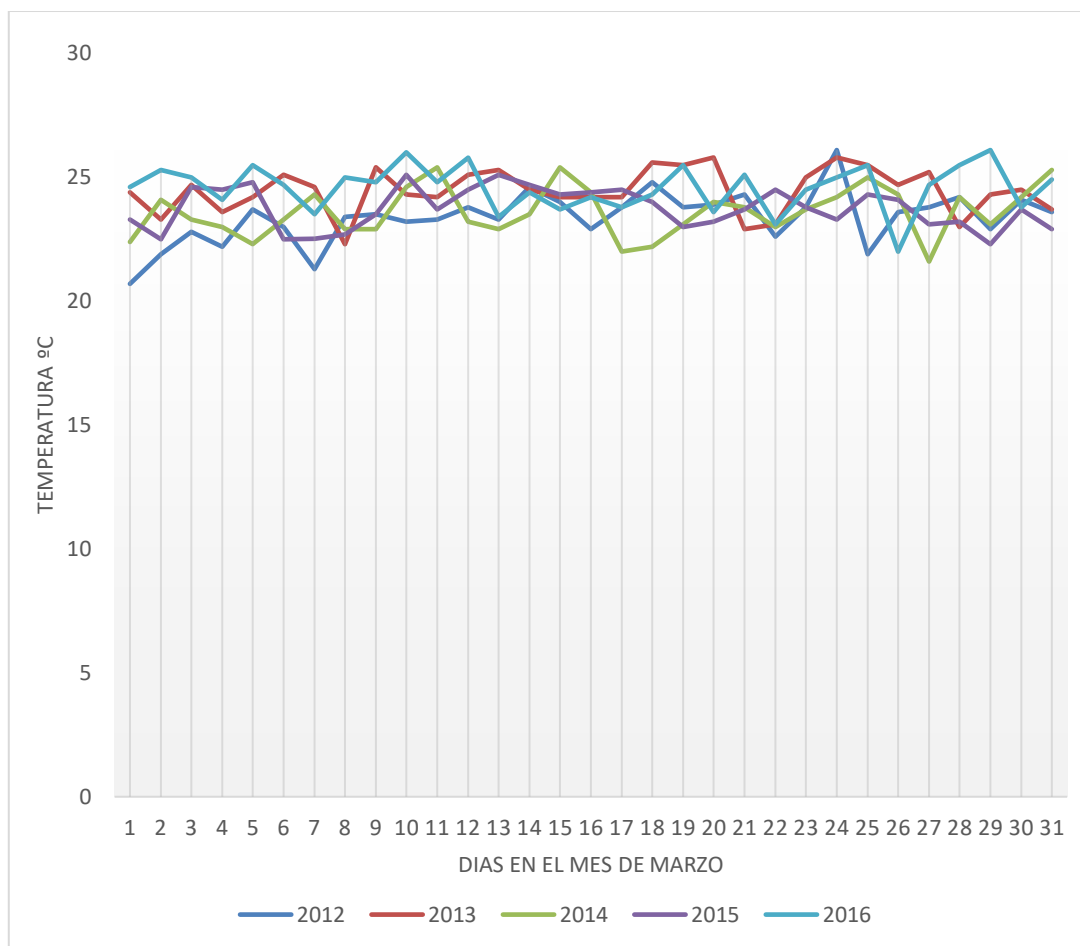


Figura 11. Registro de temperatura marzo

En la figura 11 apreciamos que los promedios de temperaturas en el mes de marzo durante los últimos años varían con respecto al promedio de 23.9° centígrados; indica que las temperaturas en la zona de Moyobamba son buenas y favorables para el desarrollo de las algas.

3.3. Evaluación de la eficiencia en la captura de carbono atmosférico con los cuatro géneros de algas fotosintéticas.

3.3.1. Análisis de carbono orgánico total (COT)

La biomasa seca obtenida debía ser analizada para determinar la concentración de carbono que tendría cada género de alga que estaría siendo evaluada así que se enviaron las muestras de biomasa seca a laboratorio particular, los resultados de los análisis realizados en el laboratorio SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES SAG se muestran con un gráfico indicando cuál es el género de alga con mayor concentración de carbono, carbono orgánico total COT. Ver anexo número 16.

- *Spirogyra spp* con una concentración de 4,86 % de carbono
- *Scenedesmus spp* con una concentración de 7,07 % de carbono
- *Cosmarium spp* con una concentración de 5,63 % de carbono
- *Closterium spp* con una concentración de 5,85 % de carbono

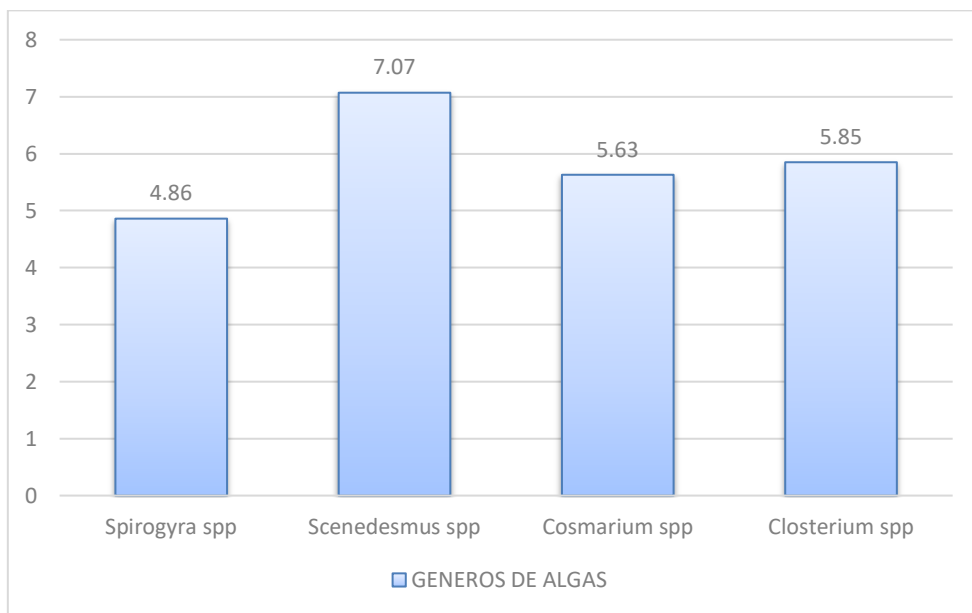


Figura 12. Concentración de carbono

La figura 12 muestra la notable diferencia en la concentración de carbono, en el que se aprecia que el género *Scenedesmus spp* tiene la mayor concentración de carbono, y que el género *Spirogyra spp* tiene una concentración de carbono menor con 7,07 % y 4,86% respectivamente, el género *Cosmarium spp* tiene un valor de 5,63 % y el género *Closterium spp* tiene un valor de 5,85%.

3.3.2. Determinación de la cantidad de carbono capturado durante la evaluación

Para estimar el contenido de carbono en la biomasa se empleará la siguiente expresión:

$$C = BTA * FC$$

Donde= contenido de carbono;

BTA= Biomasa total (kg);

FC= factor de carbono determinado directamente en el laboratorio

Tabla 9:

Contenido de carbono

	<i>Spirogyra Spp</i>	<i>Scenedesmus Spp</i>	<i>Cosmarium Spp</i>	<i>Closterium Spp</i>
Peso en kilogramos de la biomasa obtenida (kg)	0,017322	0,022692	0,028488	0,014399
Concentración de carbono (%)	0,0486	0,0707	0,0563	0,0585
Contenido de carbono (Kg)	0,0008418492	0,0016043244	0,0016038744	0,0008423415

En la tabla 9 apreciamos que los géneros *Scenedesmus spp* y *Cosmarium spp*, son los géneros de algas que mayor cantidad de carbono capturaron; es decir, que son los géneros algales de mayor eficiencia en la captura de carbono en el proceso evaluado con iguales condiciones durante un mes de cultivo.

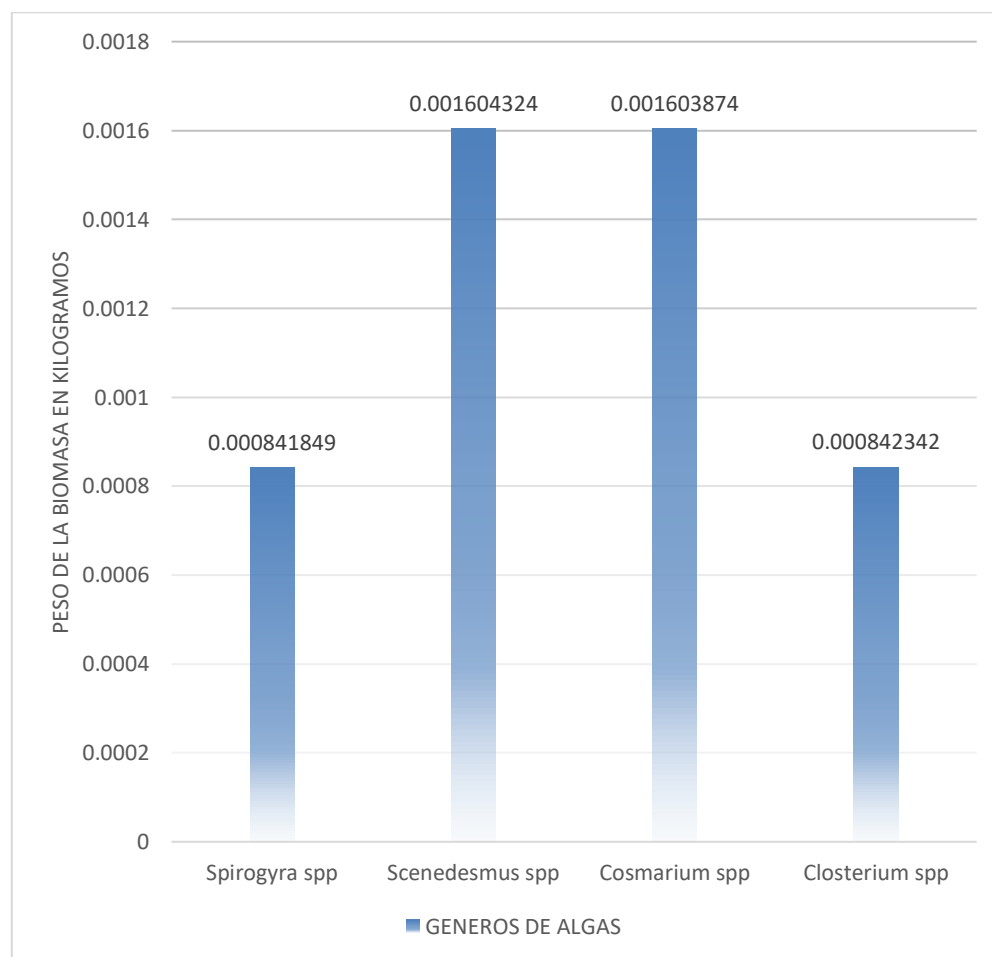


Figura 13. Carbono orgánico total capturado por género de alga

En la figura 13 apreciamos que los géneros *Scenedesmus spp* y *Cosmarium spp* son géneros de algas que mayor cantidad de carbono capturaron en iguales condiciones durante un mes de cultivo; y que el género *Scenedesmus spp* tiene una ligera mayor cantidad de carbono capturado.

3.3.3. Determinación de variación de eficiencia

Para la determinación de los valores que se han utilizado en la matriz se consideraron los criterios propuestos por el investigador e indagación de acuerdo al estudio:

Para el CO₂

- Menor al 33 % es deficiente
- Menor al 66 % es medianamente eficiente
- Mayor al 66 % es eficiente

Para humedad de biomasa

- Menor a 70 % es eficiente
- Menor a 85 % es medianamente eficiente
- Mayor a 85 % deficiente

Para la tasa de crecimiento de biomasa

- Menor a 95 % es deficiente
- Menor a 97 % es medianamente eficiente
- Mayor a 97 % es eficiente

Tabla 10:

Tabla de contingencia frecuencias observadas

Captura de carbono				
EFICIENCIA	concentración de carbono	concentración de humedad	tasa de crecimiento de la biomasa	Total
Eficiente	0	0	2	2
Medianamente eficiente	0	1	2	3
Deficiente	4	3	0	7
Total	4	4	4	12

En la tabla 10 se muestra el procesamiento de los datos obtenidos indicando que hay más cantidad de géneros algales en el rango de deficiente con un valor de 7.

Tabla 11:

Tabla de contingencia Frecuencias teóricas esperadas

Captura de carbono			
EFICIENCIA	concentración de carbono	concentración de humedad	de tasa de crecimiento de la biomasa
Eficiente	0,666666667	0,666666667	0,666666667
Medianamente eficiente	1	1	1
Deficiente	2,333333333	2,333333333	2,333333333

Para la determinación de las frecuencias esperadas se multiplica el total de columnas por el total de filas, todos sobre el gran total. El resultado se muestra plasmado en la tabla 11.

Prueba de hipótesis

Chi-cuadrado

Hipótesis Alternativa (H_1):

Existe diferencia significativa en la eficiencia de captura de carbono atmosférico en los cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba.

Hipótesis Nula (H_0):

No existe diferencia significativa en la eficiencia de captura de carbono atmosférico en los cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba.

Grados de libertad es igual a:

Número de columnas menos uno, multiplicado por el número de filas menos uno, que nos da un resultado con el valor de 4

Para encontrar el valor de X^2

Valor de X^2 aplicamos $\chi^2 = \sum ((o-e)^2/e)$, cuyo resultado es 9,7142857

Tabla 12:

Tabla Chi-cuadrado

	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
g.d.l.							
1	10,828	7,879	6,635	5,412	4,709	4,218	3,841
2	13,826	10,597	9,412	7,378	7,013	6,438	5,991
3	16,266	12,838	11,345	9,348	8,947	8,311	7,815
4	18,467	14,860	13,277	11,143	10,712	10,026	9,488
5	20,515	16,750	15,086	12,833	12,375	11,644	11,070

Fuente: Justel 2007

El valor obtenido en la matriz con una confiabilidad del 95 % es 9,488

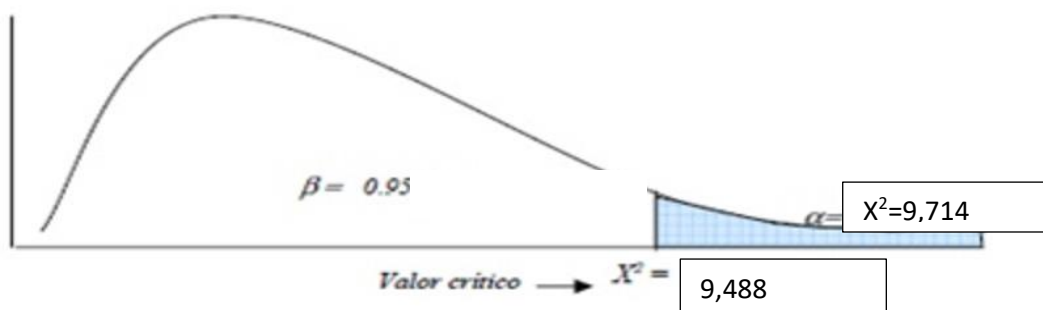


Figura 14. Descripción grafica Chi – cuadrado

Puesto que el valor estadístico calculado 9,714 es mayor que el valor tabulado 9,488 debemos aceptar la hipótesis alternativa H_1 y rechazar la hipótesis nula H_0 , es decir que existe una diferencia significativa en la captura de carbono atmosférico a partir de cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba.

3.4. Discusión

- Según (Dávila, 2013) No se encontró una relación directa entre la temperatura y la variación de la biomasa de *G. vermiculophylla* en la laguna San Ignacio, y si la temperatura es superior a los 30° C afectaría el crecimiento. Con la temperatura promedio de 23,9° C en el proceso de desarrollo de los cuatro géneros de algas fotosintéticas, se determina que la temperatura ambiental no influyó en el desarrollo de biomasa producida por cada género de alga, porque está dentro del rango de temperatura para el desarrollo óptimo para el crecimiento de algas, y también porque la temperatura era igual para cada foto biorreactor al estar expuesto bajo las mismas condiciones tal como se observa en esta investigación.
- La cianobacteria *Synechocystis spp* es una especie con bastante potencial para el aprovechamiento eficiente de luz en cultivos densos (Martínez 2010), sin embargo otras variedades con gran capacidad de aprovechamiento de la luz para convertir el carbono inorgánico atmosférico en biomasa para distintos usos son las algas *Scenedesmus spp* y *Cosmarium spp*, que cultivándolas en condiciones favorables exclusivas tendrían una mejora considerable, según lo observado en la presente investigación.
- Trabajar con foto biorreactores abiertos para producir biomasa es una de las formas para simular la interacción de la atmosfera y el cultivo algal, debido a que es un ambiente controlado es muy baja la posibilidad de contaminación por otros organismos, pudiendo de esta manera calcular con más precisión la captura de carbono por variedades específicas de algas. Sin embargo, existe la posibilidad de trabajar con un flujo permanente de aire dentro de los foto biorreactores para aumentar el contacto de las algas con el CO₂ atmosférico, porque la capacidad de biofijación de algunos géneros de algas es mayor, con lo que se podría capturar más carbono atmosférico, con lo que según, (Benemam, 2003), solo se retrasaría el calentamiento global, porque disminuiríamos la concentración de carbono en la atmosfera.
- Las algas se desarrollan con normalidad de manera eficiente a temperatura ambiente, en la variación de pH no existe una diferencia significativa pero el rango varía muy cercanamente al pH neutro como mencionan. (Chang y Yang (2003) citado por Martínez, 2010), con promedio de 23,9° C registrados durante los últimos cinco años. La temperatura

ambiental es óptima para el desarrollo de las algas y sin embargo en los distintos géneros de algas evaluadas en la investigación existe una leve tendencia de alcalinidad a partir del día doce que va neutralizándose conforme pasa el tiempo (12 días).

- El género *Scenedesmus spp* es bastante tolerable a cambios en el valor de pH (García, 2014), sin embargo en la producción de biomasa la tasa de crecimiento y la eficiencia disminuyen considerablemente comparando con los otros géneros de algas, con una tasa de crecimiento menor a la del resto, esto considerando el análisis de varianza realizado de un solo factor en el que muestra que no existe una diferencia significativa con respecto a la variación de pH que tiene una varianza de 1,07 con un promedio de 8,07 durante el proceso de cultivo microalgal. Si bien la tasa de crecimiento es baja, la humedad es relativamente baja comparando con los otros géneros de algas y su eficiencia se hace mayor al determinar la concentración de carbono, por lo que se entiende que si el valor de pH va por un valor controlado de 7,5 la producción de biomasa y en si la captura de carbono sería bastante eficiente con este género de alga.

- Con respecto a la captura de carbono comparado con algunos vegetales como Bolaina que tiene un valor de 0,008066 kg de carbono en un metro cuadrado, con su respectiva altura y profundidad de las raíces con las que ocupa un volumen grande; las algas en espacio mucho menor obtienen una cantidad de carbono regular, pero obtenida en un menor espacio y un volumen que alcanza los 0,15 metros cúbicos la cantidad máxima de 0,0016043244 Kg en el género de alga *Scenedesmus spp*. La Caoba es la que menos capturó en la investigación de (Quintoran 2009) con 0,00226667 kg de carbono por metro cuadrado comparado con el género de alga que menos capturó *Spirogira spp* con 0,0008418492 kg, las algas representan una gran cantidad de captura de carbono en un espacio mucho menor. La importancia del crecimiento de las algas es que se pueden cultivar en lugares donde las macrofitas no tienen gran oportunidad para su desarrollo, en las ciudades donde el espacio para cultivar macrofitas es muy reducido se puede dar una iniciativa de cultivo algal en los techos de las viviendas.

- Para la contrastación de la hipótesis se ha realizado la prueba Chi-cuadrado, en la que se determina que sí existe diferencia significativa en la captura de carbono atmosférico entre los cuatro géneros de algas fotosintéticas, con una confiabilidad del 95%, siendo

Scenedesmus spp y *Cosmarium spp* que se diferencian significativamente de los otros dos géneros *Spyrogira spp* y *Closterium spp*, por lo que se determina que son los dos primeros géneros de algas más eficientes en la captura de carbono y son recomendables para cultivar en lugares donde no sea posible el crecimiento de bosques, como en las ciudades.

CONCLUSIONES

- La eficiencia en la captura de carbono atmosférico cultivados en las mismas condiciones tiene una diferencia significativa entre ellas, en la que el género *Scenedesmus spp* fue el que más concentración de carbono obtuvo con un valor de 0,0707 % junto al género *Closterium spp* que tiene un valor de 0,0563 %, y el género *Spyrogira spp* fue la que menos concentración ha logrado durante el proceso de evaluación de los cuatro géneros de algas fotosintéticas con un valor de 0,0486 %. El género *Scenedesmus spp* presentó una tasa de crecimiento mucho menor con un valor de 96,65 % comparado con el género *Cosmarium spp* cuyo valor es de 97,64 % y el género *Spirogyra spp* con un valor de 97,72 %, con respecto a la humedad el género *Spirogyra spp* ha presentado el mayor porcentaje cuyo valor es de 92,121 % y el género *Scenedesmus spp* el menor porcentaje de humedad con un valor de 84,815 %.
- Mediante la observación directa al microscopio reconociendo características morfológicas de los cuatro géneros de algas se ha logrado identificar los géneros propuestos para esta investigación que posteriormente fueron separadas y aisladas, para cultivarlas de tal manera que tengan un desarrollo uniforme y continuo. Para la selección de los géneros propuestos se consideró biota autóctona para evitar riesgos de fracaso durante el desarrollo de los microorganismos evaluados.
- El desarrollo de las algas evaluadas se dio de manera efectiva y con una constante evaluación de pH que en un momento por condiciones propias de las algas evaluadas tuvo una ligera tendencia a la alcalinización que según los registros el género *Scenedesmus spp* presentó el mayor valor, 9,33 que posteriormente fue neutralizándose conforme pasaba los días.
- Los géneros que mayor eficiencia han demostrado en el estudio realizado comparando los recursos utilizados (humedad, tasa de crecimiento y concentración de carbono) son el género *Scenedesmus spp*, y el género *Cosmarium spp*. Los valores de humedad son de 84,815% y 86,571%. La tasa de crecimiento del género *Spirogyra spp* es mucho mayor que el género *Scenedesmus spp* con los valores de 97.72 % y 96.65 % respectivamente. En concentración de carbono, el género *Scenedesmus spp* tiene una concentración de 7,07 % y el género *Cosmarium spp* tiene una concentración de 5,63 %,

los valores de la concentración de carbono sirvieron para determinar cuáles géneros son los que mayor captura de carbono han logrado en la misma cantidad de tiempo el peso en kilogramos que se determinó son 0,0016043244 kg y 0,0016038744kg respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Para otras investigaciones con el tratamiento de algas a realizarse se recomienda que al momento de elegir las algas a evaluar, procurar investigar sobre análisis recientes donde se identificaron, para una más rápida búsqueda del lugar de procedencia de la muestra, y haya una mayor posibilidad de reconocimiento de las algas a tratar.
- Para otras investigaciones con el tratamiento de algas a realizarse se recomienda que en el proceso de crecimiento de las microalgas, donde no se tuvo en cuenta el tiempo para el proceso de producción a escalas mayores, se debería gestionar una mayor cantidad de tiempo y recursos. Las investigaciones realizadas con microalgas requieren de mucho cuidado y se recomienda tener en consideración el medio de cultivo a utilizar antes de iniciar la investigación, también a tener en cuenta los materiales y métodos de medición, para obtener buenos resultados.
- Se recomienda a empresas grandes como CAFENOR PERU SAC, COMERCIALIZADORA BYM EIRL, y otras que para reducir las emisiones de CO₂ deberían implementar un subsistema para almacenar los gases emanados, y utilizarlos en un sistema cerrado de cultivo cerrado de microalgas, para producir biomasa y reducir así la cantidad de CO₂ emanados a la atmosfera.
- A las autoridades ambientales competentes como ARA, Ministerio del ambiente que el cambio climático no solo se puede reducir con los bosques, y que implementen medidas para la utilización de tecnologías nuevas con una mayor eficiencia en la reducción de gases que incrementan el efecto invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acleto, C. (1969). *Dos especies de cyanophyta nuevas que se registran para el Perú*. Publicaciones del Museo de Historia Natural “Javier Prado”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos., serie B, n° 23, p.1-8.
- Acosta, M. M.; Vargas, H. J.; Velásquez, M. A. y Etchevers, B. J. D. (2002). *Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México*. Agrociencia.
- Band C. (1999). “*Efecto de la composición bioquímica de microalgas sobre el valor nutritivo de dos cepas de Artemia*”. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz – Bolivia.
- Borowitzka, M. A. (2013). “*Productos de alto valor de microalgas -su desarrollo y comercialización.*” 25(3): 743-756.
- Contreras C, Peña J, Flores L y Cañizares R. 2003. “*Avances en el Diseño Conceptual de Foto biorreactores para el Cultivo de Microalgas*”.
- Davila, (2013). “*Evaluación de las condiciones de cultivo autotrófico de microalga Chlorella para la producción de biodiesel*” tesis para optar por el título de ingeniero ambiental, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Diccionario Dela Real Academia Española. 2017
- Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 94. Chlorophyta, se terminó de imprimir el 2 de abril de (2012), en los talleres de S y G editores, Cuapinol 52, Col. Pedregal de Santo Domingo, 04369 México, D.F. (sygeditorespress@gmail.com).
- García C. (2014). “*Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂*” Tesis para optar por grado de Doctor. Universidad de Sevilla. España.
- Gómez L. (2007). “*Microalgas: Aspectos Ecológicos y Biotecnológicos*”. Laboratorio de Ecotoxicología Marina, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Vol. XIX, N° 2.
- Houghton, R.; Woodwell, G. (1989). *Cambio Climático Global. Investigación y Ciencia*. Pp 153.
- IMARPE (Instituto del mar del Perú), Noviembre (2011). “*Compendio metodológico para la extracción de lípidos totales a partir de biomasa microalgal*”.
- Infojardin, CO₂ URL <http://www.infojardin.net/glosario/clamidospora/co2.htm>
- IPCC, (2005). *IPCC Special Report on Carbon Capture and Storage 2005*. Disponible en: www.ipcc.ch.

- Jaramillo, J. (2011). “*Evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de microalgas*”. Tesis para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Manarin, R. (2015). *Tipos de cultivos celulares Generalidades*
- Martínez, L. (2010). “*Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas*”. Tesis para optar por grado de Doctor. Universidad de León. España. Ciudad de León.
- Mendoza, C. (2015). *Diversidad de algas (excepto bacillariophyceae) asociadas a macrófitas en la laguna El Oconal, Villa Rica, Oxapampa, Pasco, durante la época de transición vaciante – creciente*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima. Perú.
- Montgomery, D. (2006). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería
- PNUD. 1997. Protocolo de Kyoto para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Pp 2 – 4.
- Quitoran (2010).” *Determinación del potencial de captura de carbono en cinco especies forestales de dos años de edad, cedro nativo, (cederla odorata) caoba, (swietenia macrophylla.) bolaina, (guazuma crinita) teca, (tectona grandis) y capirona, (calycophyllum sprucearum) en la localidad de Alianza San Martin 2009*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de San Martin-Tarapoto.
- Salazar, L. (2012). “*Evaluación de métodos de extracción de aceite de microalgas para la producción de biodiesel*”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Ciudad de Piura.
- Vergara, M 2009. Evaluación de biomasa y extracción de agar del alga roja (gracilariales, rhodophyta) de laguna San Ignacio.

ANEXOS

Anexo 01: Esterilización de materiales



Anexo 02: Preparación del medio de cultivo Guillard f/2

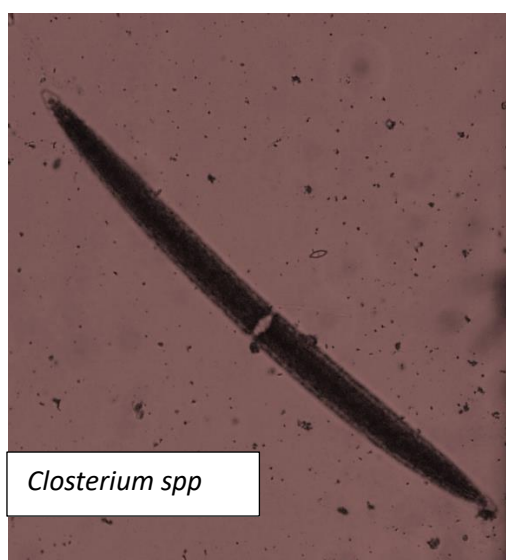
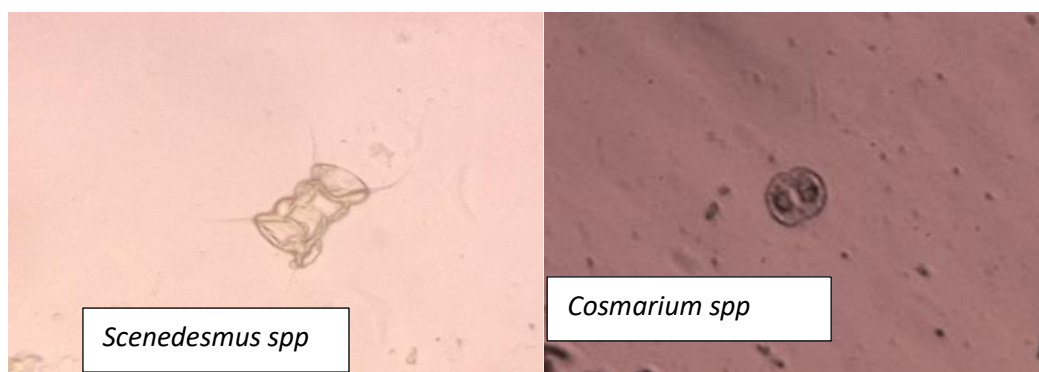
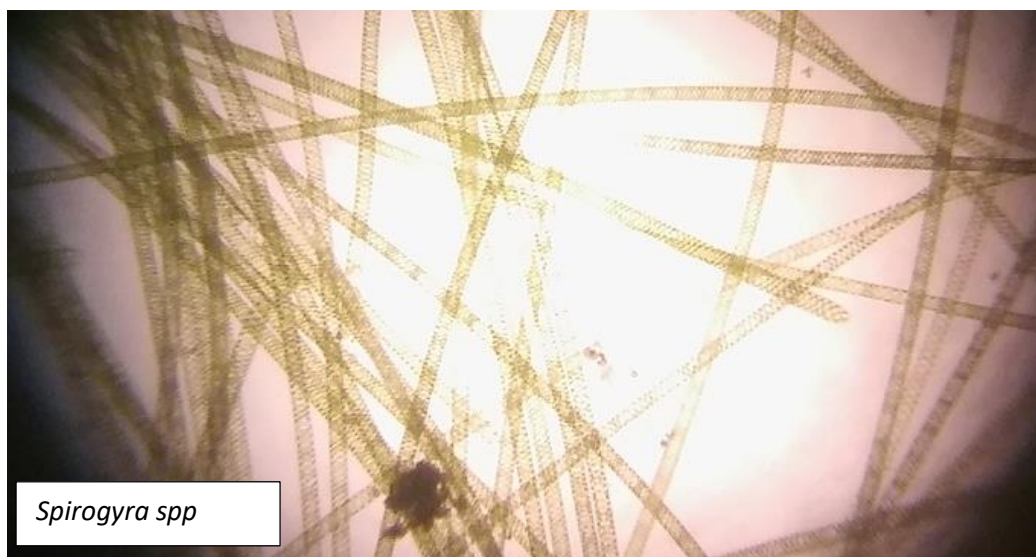




Anexo 03: Recolección de Muestras



Anexo 04: Reconocimiento de genero algal



Anexo 05: Siembra de algas



Anexo 06: Filtro de la siembra a mayor escala



Anexo 07: Preparación y ubicación de Fotobiorreactores



Anexo 08: Medición de pH



Anexo 09: Recolección de biomasa



Anexo 10: Evolución de la crianza de algas ordenados *Spirogyra* spp, *Scenedesmus* spp, *Cosmarium* spp, *Closterium* spp, respectivamente

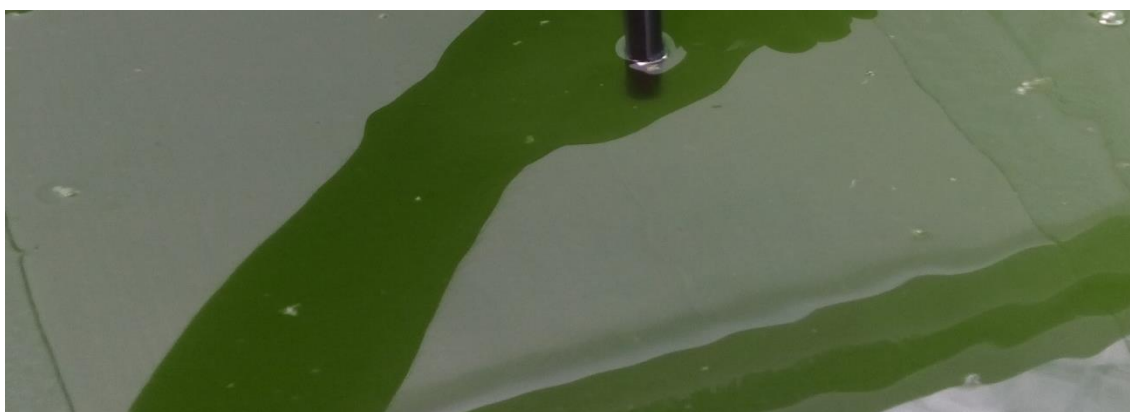
Primera semana



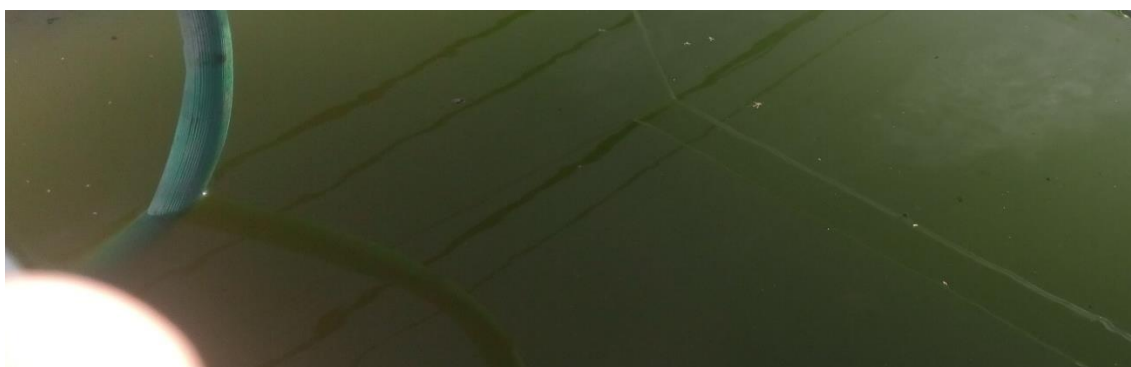
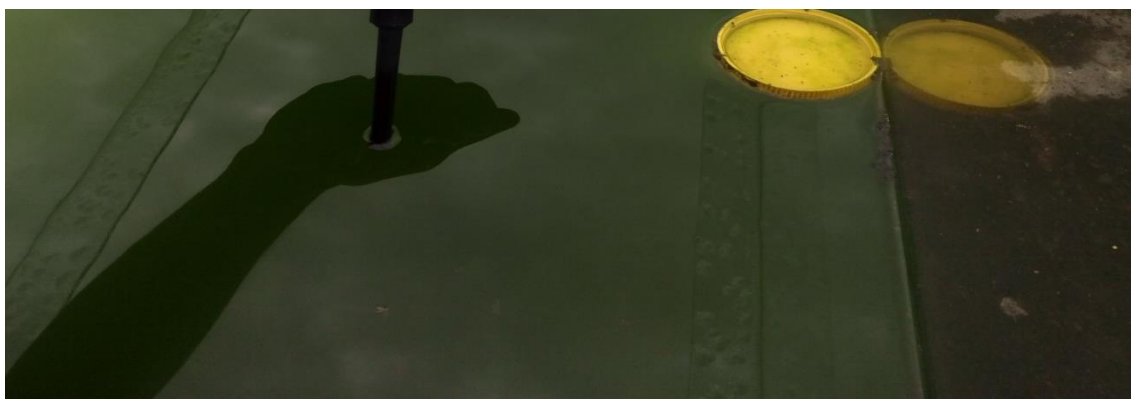
Segunda semana

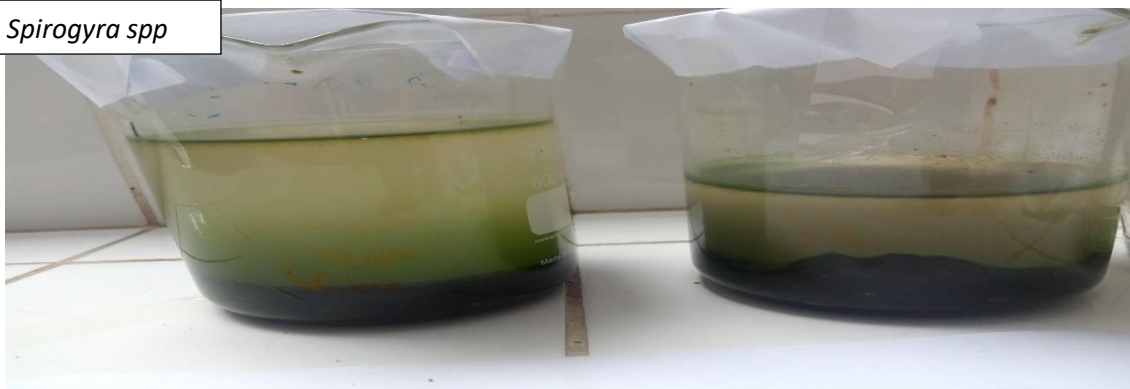
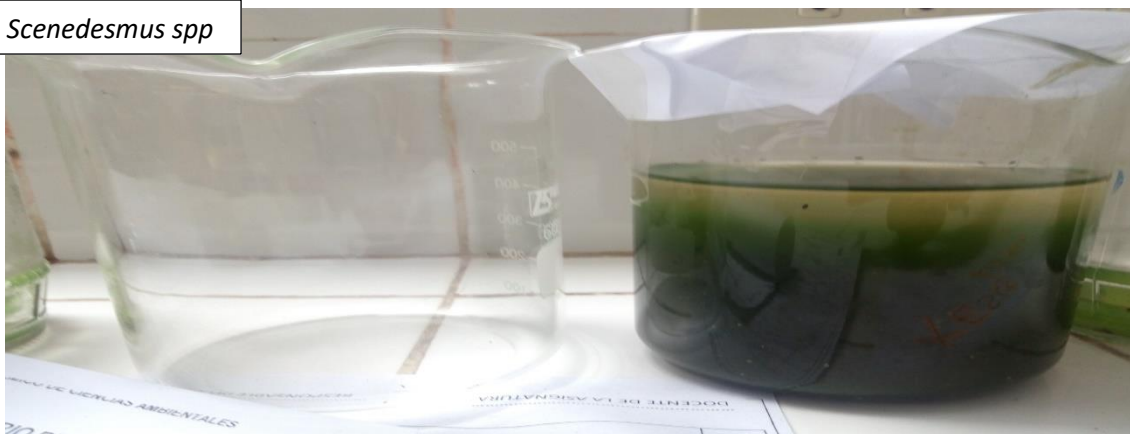


Semana 3



Semana 4



Anexo 11: Biomasa recolectada*Spirogyra spp**Scenedesmus spp**Cosmarium spp**Closterium spp*

Anexo 12: Peso de la biomasa

Anexo 13: Diseño e instalación de Fotobiorreactores

Teniendo en cuenta que para la conversión de carbono inorgánico CO₂ a materia orgánica se necesita luz, los fotobiorreactores deben ser transparentes por lo que se decidió hacer un cubo de vidrio abierto por un lado, para la aireación del agua que contendrá las microalgas, el contenedor tiene una capacidad para almacenamiento con un volumen de 1 metro cubico cada uno, las dimensiones del cubo son las siguientes: 1.5 metros de largo, 0.55 metros de alto y 0.5 metros de ancho.

- Considerando que se necesita de la luz solar para que el proyecto se desarrolle con normalidad, se decidió ubicarlo en un lugar libre, aireado y sin la posibilidad de intervención ni contacto humano, pero con la aireación suficiente para la captura de carbono atmosférico.

- Evaluando la posibilidad de proliferación de larvas, mosquitos, zancudos etc. que fueran arrastrados por el viento se tomó como medida preventiva tapar con una manta de color blanco con poros que permitiría el ingreso del aire con total normalidad hacia el interior del fotobiorreactor, donde se desarrolló el proyecto de investigación.

- La ubicación del proyecto fue Jirón Coronel Bardales 490, Barrio Calvario, distrito de Moyobamba.

Anexo 14: Etapas del cultivo de microalgas y proceso de recolección.

A partir de la identificación de las algas se procedió a cultivarlas en sepas hasta conseguir un cultivo puro, la separación de algas que se encontraban en las muestras obtenidas hasta conseguir un cultivo puro consistió en:

- Aislamiento.

- Con la necesidad del aislamiento algal y la necesidad de colocación de la misma en un medio de cultivo adecuado para su multiplicación, estableciendo un cultivo monoespecífico, se optó por el método de cultivo rayado en agar.
- El rayado en agar consiste en, preparar el medio de cultivo que se introducirá en las cajas petri, cuyo medio está compuesto de, medio de cultivo Guillard f/2 y agar, que se tuvo que mezclar con agar al uno por ciento con el medio de cultivo específico para algas, posteriormente se dejó solidificar.

Con un asa de siembra esterilizada se procedió al rayado en agar, que después de cada rayado se procede a esterilizar sumergiéndola en alcohol y quemándola hasta que el asa de siembra adquiriera un color rojo por la temperatura, el criterio para la utilización del asa de siembra es de mucha asepsia. El método de siembra que se ha utilizado se denomina siembra por estrías.

- Posteriormente se dejó incubar el rayado en agar por un periodo de 6 días, luego se hizo una observación en microscopio de las colonias formadas, y con una asa de siembra esterilizada, se procede de la misma manera a resembrar en medio de cultivo preparado hasta conseguir un cultivo uniforme monoespecífico.

- Cultivo

- Después de haber obtenido un medio de cultivo monoespecífico, se procedió a transferir las unidades algales a un medio líquido cuyo recipiente debía de estar esterilizado, el medio líquido fue Guillard f/2.
- Habiendo estado en estado de incubación en un periodo de 6 días se procedió a la transferencia hacia un recipiente de mayor cantidad de volumen, que fueron los acuarios con 0.15 metros cúbicos de agua con una mezcla de nutriente para plantas disuelto, donde las algas se desarrollaron a temperatura ambiente y aireada de manera natural.

- Desarrollo

○ En el proceso de desarrollo de las algas se pudo observar distintas características de las colonias en una escala mayor, el agua cristalina empezó a tomar una coloración verde a partir del día cinco, el que se notaba de un color más verdoso inicialmente fue el género *Spirogyra*, una de las características principales que se observó fue.

- Los filamentos unidos en forma de una fina tela de color verde oscuro, que en algunas partes formaba una especie de algodón flotante en el Fotobiorreactores y en las paredes se notaba que por su propio peso estas láminas de tela se desplegaban precipitándose, en algunos de estos algodones flotantes se observaba espuma de color verde, esta característica pertenece al género *Spirogyra spp*, ver anexos
- En el género *Scenedesmus* se observó que especie de arena fina en la superficie del agua con sustrato, tan bien se observó que el color verde era un poco más claro que el del género *Spirogyra spp*.
- En el género *Cosmarium* se apreciaba solo espumas que se formaban en la superficie con un color verde amarillento.
- En el género *Closterium* se pudo apreciar la formación de espuma de color verde y aglomeraciones que se formaban junto a las espumas que se encontraban flotando en la superficie del agua con sustrato, el color que se notaba en este género de alga era un color verde más claro que el género *Scenedesmus*

- Recolección de biomasa

○ Para el proceso de recolección de biomasa se procedió con la remoción del agua con sustrato a otro recipiente, mediante una manguera que funcionaba como puente entre el fotobiorreactor y el recipiente recolector del agua enriquecida con sustrato, posteriormente la biomasa precipitada dentro del fotobiorreactor fue recolectada en un recipiente. Se procedió nuevamente al trasvase de agua con sustrato y algas suspendidas nuevamente al fotobiorreactor para esperar una próxima precipitación de material biológico, y se procedió con la técnica mencionada anteriormente hasta conseguir la mayor cantidad de biomasa.

- La biomasa recolectada en los recipientes debía de encontrarse en un lugar con mucha asepsia, y se procedió a hacer un traslado del material recolectado a vasos precipitados en el laboratorio de la facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, en el que se produjo una nueva precipitación de material biológico en vasos precipitados, y en un lapso de siete días, la biomasa precipitada formaba estratos de color verde, en cada género de alga, el estrato de menos color se fue retirando del recipiente que contenía la biomasa húmeda.

Anexo 15: Datos de temperatura registrados por SENAHI durante cinco años en la estación meteorológica de Moyobamba

2012- marzo			
DIA	temperatura máxima	temperatura mínima	temperatura promedio
1 de Marzo de 2012	23	18,4	20,7
2 de Marzo de 2012	25	18,8	21,9
3 de Marzo de 2012	28,2	17,4	22,8
4 de Marzo de 2012	25,8	18,6	22,2
5 de Marzo de 2012	28	19,4	23,7
6 de Marzo de 2012	27	19	23
7 de Marzo de 2012	24	18,6	21,3
8 de Marzo de 2012	28,2	18,6	23,4
9 de Marzo de 2012	27,8	19,2	23,5
10 de Marzo de 2012	27,4	19	23,2
11 de Marzo de 2012	27	19,6	23,3
12 de Marzo de 2012	29	18,6	23,8
13 de Marzo de 2012	28,4	18,2	23,3
14 de Marzo de 2012	31	18,2	24,6
15 de Marzo de 2012	28	20	24
16 de Marzo de 2012	26,6	19,2	22,9
17 de Marzo de 2012	27,8	19,8	23,8
18 de Marzo de 2012	29,4	20,2	24,8
19 de Marzo de 2012	28,6	19	23,8
20 de Marzo de 2012	29	18,8	23,9
21 de Marzo de 2012	28,4	20,2	24,3
22 de Marzo de 2012	25,8	19,4	22,6
23 de Marzo de 2012	29,2	18,4	23,8
24 de Marzo de 2012	32	20,2	26,1
25 de Marzo de 2012	24,8	19	21,9
26 de Marzo de 2012	28,8	18,4	23,6
27 de Marzo de 2012	29,8	17,8	23,8
28 de Marzo de 2012	29,8	18,6	24,2
29 de Marzo de 2012	27,8	18	22,9
30 de Marzo de 2012	28,6	19,6	24,1
31 de Marzo de 2012	27,8	19,4	23,6

Fuente:SENHAMI

2013- marzo			
DIA	temperatura máxima	temperatura mínima	temperatura promedio
1 de Marzo de 2013	28,6	20,2	24,4
2 de Marzo de 2013	27,6	19	23,3
3 de Marzo de 2013	29,4	20	24,7
4 de Marzo de 2013	27,4	19,8	23,6
5 de Marzo de 2013	28,2	20,2	24,2
6 de Marzo de 2013	30,4	19,8	25,1
7 de Marzo de 2013	29	20,2	24,6
8 de Marzo de 2013	24,4	20,2	22,3
9 de Marzo de 2013	31	19,8	25,4
10 de Marzo de 2013	28,6	20	24,3
11 de Marzo de 2013	29	19,4	24,2
12 de Marzo de 2013	29,8	20,4	25,1
13 de Marzo de 2013	29,8	20,8	25,3
14 de Marzo de 2013	28,6	20,4	24,5
15 de Marzo de 2013	28	20,4	24,2
16 de Marzo de 2013	28,6	19,8	24,2
17 de Marzo de 2013	27,8	20,6	24,2
18 de Marzo de 2013	31,2	20	25,6
19 de Marzo de 2013	30,2	20,8	25,5
20 de Marzo de 2013	29,6	22	25,8
21 de Marzo de 2013	25,2	20,6	22,9
22 de Marzo de 2013	27,8	18,4	23,1
23 de Marzo de 2013	31,4	18,6	25
24 de Marzo de 2013	31,2	20,4	25,8
25 de Marzo de 2013	30,4	20,6	25,5
26 de Marzo de 2013	30	19,4	24,7
27 de Marzo de 2013	30,2	20,2	25,2
28 de Marzo de 2013	27	19	23
29 de Marzo de 2013	29,2	19,4	24,3
30 de Marzo de 2013	29	20	24,5
31 de Marzo de 2013	28,2	19,2	23,7

Fuente:SENHAMI

2014- marzo			
DIA	temperatura máxima	temperatura mínima	temperatura promedio
1 de Marzo de 2014	25,6	19.2	22,4
2 de Marzo de 2014	29,4	18.8	24,1
3 de Marzo de 2014	27,2	19.4	23,3
4 de Marzo de 2014	27,2	18.8	23
5 de Marzo de 2014	25,2	19.4	22,3
6 de Marzo de 2014	27,6	19	23,3
7 de Marzo de 2014	29,6	19	24,3
8 de Marzo de 2014	26,4	19.4	22,9
9 de Marzo de 2014	26,8	19	22,9
10 de Marzo de 2014	31,4	17.8	24,6
11 de Marzo de 2014	31,8	19	25,4
12 de Marzo de 2014	25,8	20.6	23,2
13 de Marzo de 2014	26	19.8	22,9
14 de Marzo de 2014	27,8	19.2	23,5
15 de Marzo de 2014	31,2	19.6	25,4
16 de Marzo de 2014	28,4	20.4	24,4
17 de Marzo de 2014	24,2	19.8	22
18 de Marzo de 2014	24,6	19.8	22,2
19 de Marzo de 2014	26,2	20	23,1
20 de Marzo de 2014	28,8	19.2	24
21 de Marzo de 2014	27,8	19.8	23,8
22 de Marzo de 2014	26,2	19.8	23
23 de Marzo de 2014	27,4	20	23,7
24 de Marzo de 2014	28,2	20.2	24,2
25 de Marzo de 2014	29,6	20.4	25
26 de Marzo de 2014	28,8	19,8	24,3
27 de Marzo de 2014	23,6	19,6	21,6
28 de Marzo de 2014	29,2	19,2	24,2
29 de Marzo de 2014	28,6	17,6	23,1
30 de Marzo de 2014	29,8	18,6	24,2
31 de Marzo de 2014	30,2	20,4	25,3

Fuente:SENHAMI

2015- marzo			
DIA	temperatura máxima	temperatura mínima	temperatura promedio
1 de Marzo de 2015	28	18,6	23,3
2 de Marzo de 2015	25,8	19,2	22,5
3 de Marzo de 2015	29,8	19,4	24,6
4 de Marzo de 2015	29	20	24,5
5 de Marzo de 2015	29,4	20,2	24,8
6 de Marzo de 2015	24,8	20,2	22,5
7 de Marzo de 2015	25,8	19,24	22,5
8 de Marzo de 2015	25,8	19,6	22,7
9 de Marzo de 2015	27,4	19,6	23,5
10 de Marzo de 2015	29,8	20,4	25,1
11 de Marzo de 2015	26,6	20,8	23,7
12 de Marzo de 2015	28,4	20,6	24,5
13 de Marzo de 2015	29,8	20,4	25,1
14 de Marzo de 2015	29,8	19,6	24,7
15 de Marzo de 2015	28	20,6	24,3
16 de Marzo de 2015	28,8	20	24,4
17 de Marzo de 2015	30	19	24,5
18 de Marzo de 2015	28,8	19,2	24
19 de Marzo de 2015	26,6	19,4	23
20 de Marzo de 2015	27,8	18,6	23,2
21 de Marzo de 2015	28,4	19	23,7
22 de Marzo de 2015	29,4	19,6	24,5
23 de Marzo de 2015	29,8	17,8	23,8
24 de Marzo de 2015	28,2	18,4	23,3
25 de Marzo de 2015	31,8	16,8	24,3
26 de Marzo de 2015	29,2	19	24,1
27 de Marzo de 2015	28,2	18	23,1
28 de Marzo de 2015	28,4	18	23,2
29 de Marzo de 2015	25,4	19,2	22,3
30 de Marzo de 2015	30	17,4	23,7
31 de Marzo de 2015	27,6	18,2	22,9

Fuente:SENHAMI

2016- marzo			
DIA	temperatura máxima	temperatura mínima	temperatura promedio
1 de Marzo de 2016	28,4	20,8	24,6
2 de Marzo de 2016	30,8	19,8	25,3
3 de Marzo de 2016	29,4	20,6	25
4 de Marzo de 2016	27	21,2	24,1
5 de Marzo de 2016	30,6	20,4	25,5
6 de Marzo de 2016	29	20,4	24,7
7 de Marzo de 2016	26	21	23,5
8 de Marzo de 2016	30,4	19,6	25
9 de Marzo de 2016	30,4	19,2	24,8
10 de Marzo de 2016	32	20	26
11 de Marzo de 2016	27,6	22	24,8
12 de Marzo de 2016	30,6	21	25,8
13 de Marzo de 2016	26,4	20,4	23,4
14 de Marzo de 2016	28	20,8	24,4
15 de Marzo de 2016	26,6	20,8	23,7
16 de Marzo de 2016	29,8	18,6	24,2
17 de Marzo de 2016	28,2	19,4	23,8
18 de Marzo de 2016	28,6	20	24,3
19 de Marzo de 2016	30,2	20,8	25,5
20 de Marzo de 2016	25,8	21,4	23,6
21 de Marzo de 2016	29,6	20,6	25,1
22 de Marzo de 2016	26,4	19,8	23,1
23 de Marzo de 2016	29	20	24,5
24 de Marzo de 2016	31	19	25
25 de Marzo de 2016	29,8	21,2	25,5
26 de Marzo de 2016	23	21	22
27 de Marzo de 2016	28,8	20,6	24,7
28 de Marzo de 2016	30,4	20,6	25,5
29 de Marzo de 2016	32	20,2	26,1
30 de Marzo de 2016	26,4	21,2	23,8
31 de Marzo de 2016	30	19,8	24,9

Fuente:SENHAMI

Anexo 16: Informe análisis COT


SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 112039-2017 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	: JORGE LICIANO RUCOBA LAULATE
DOMICILIO LEGAL	: CARRETERA MARGINAL N° REF. (FRENTE AL GRIFO EN LA BAJADA) SAN MARTÍN - LAMAS - TABALOSO
SOLICITADO POR	: JORGE LICIANO RUCOBA LAULATE
REFERENCIA	: RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDECENCIA	: RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2017-04-20
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	: 2017-04-20
MUESTREADAS POR	: EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Carbono orgánico total (COT)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Materia Orgánica	0.14	%

L.C.: Límite de cuantificación del método

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2017-04-19	2017-04-19	2017-04-19	2017-04-19
Hora de inicio de muestreo (h)	09:00	09:00	09:00	09:00
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	(spi)	(sce)	(cos)	(clos)
Código del Laboratorio	17041125	17041126	17041127	17041128
Ensayos	Unidades	Resultados		
Carbono orgánico total (COT)	%	4.86	7.07	5.63
				5.85

Lima, 05 de Mayo del 2017

Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 02/Versión: 06/FE/09/2015

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 1

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 - Urb. Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | MÓVIL 994 976 442
Website www.sagperu.com Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com | laboratorio@sagperu.com

